



Luís Gonçalo
Campos Brandão
Câmara de Oliveira

Mobilidade Ciclável: Modelação de Tráfego e de
Conflitos Rodoviários



**Luís Gonçalo
Campos Brandão
Câmara de Oliveira**

Mobilidade Ciclável: Modelação de Tráfego e de Conflitos Rodoviários

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica da Professora Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho, Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

O Júri

Presidente

Prof. Doutor António Manuel Godinho Completo

Professor Auxiliar com Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Orientadora

Prof. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professora Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Arguente

Prof. Doutor Joaquim Miguel Gonçalves Macedo

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Civil da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

Este espaço destina-se a todos aqueles que fizeram parte e contribuíram para a concretização desta grande etapa da minha vida. A todos eles o meu sincero e sentido agradecimento.

Em primeiro lugar quero agradecer à minha orientadora, a Professora Doutora Margarida Coelho pela dedicação, tempo e ajuda demonstrada durante a realização desta Dissertação. Uma palavra de agradecimento também ao Eng. Paulo Fernandes pela disponibilidade constante e linhas guia que sempre me deu.

À minha família, sobretudo aos meus pais, por todo o apoio, investimento e confiança que depositaram em mim ao longo deste percurso académico e ao longo de toda a minha vida.

Aos meus fiéis amigos, aqueles que me acompanham desde sempre, como os que conheci ao longo do percurso académico. Todos eles tiveram um papel fundamental e foram uma fonte de força, motivação e energia ao meu dia a dia como pessoa e estudante.

Por fim, mas nunca menos importante, à Ana, minha namorada, pela amizade, amor e força que sempre me transmite. A presença dela nos meus bons, mas também maus momentos é uma constante, sempre disposta a apoiar-me.

A todos um muito obrigado do fundo do coração.

Palavras-chave

Mobilidade, Segurança Rodoviária, Conflitos, Bicicleta, Veículos Motorizados

Resumo

A mobilidade ciclável torna-se uma opção cada vez mais válida. No entanto, um dos argumentos de maior relevo dado pelas pessoas para não usarem regularmente a bicicleta está relacionado com a falta de segurança na estrada. Na realidade, o aumento do número de bicicletas em vias públicas cria conflitos com os veículos motorizados, com impactos ao nível da segurança e desempenho do tráfego rodoviário.

O principal objetivo desta Dissertação consiste em estudar os conflitos entre bicicletas e veículos motorizados, na cidade de Aveiro, ao longo de três diferentes trajetos (A, B e C), entre a Estação Ferroviária e a Universidade de Aveiro, em 5 cenários distintos (base e 4 alternativos). No cenário base representa-se o estudo de caso, enquanto que no cenário 1 foram implementadas ciclovias ao longo de todos os trajetos. Nos cenários 2 e 3 aumentou-se o número de bicicletas a introduzir na simulação, em 10 vezes face às do cenário base, com a particularidade de no cenário 3 terem sido retirados veículos motorizados (na proporção relativa à sua taxa de ocupação, tendo em conta o número de bicicletas adicionado). Por fim, no cenário 4 foram criadas zonas de velocidade reduzida ao longo de todos os trajetos (velocidade máxima 30 km/h). Foram usados modelos de simulação de tráfego e de análise da segurança rodoviária, o *VISSIM* e o *SSAM*, respetivamente. Com este estudo foi possível selecionar os trajetos mais seguros e com menor fluxo de tráfego, bem como equacionar a implementação de soluções para evitar conflitos entre bicicletas e veículos motorizados.

Na maioria das comparações realizadas, nenhum trajeto se revelou como o preferencial ao nível de todos os parâmetros da segurança rodoviária. Em alguns cenários alternativos foi verificado um decréscimo no número total de conflitos, mas estes apresentaram maior probabilidade na ocorrência de colisões efetivas entre veículos. Em outros casos, a gravidade das potenciais colisões foi também superior face à diminuição dos conflitos registados. No entanto, através da análise estatística realizada (teste t), foi possível verificar as medidas representativas que apresentavam diferenças significativas ($p\text{-value} < 0,05$) nos cenários alternativos comparativamente ao base. O cenário 3 apresentou um número total de conflitos inferior, valores iguais de Tempo até à colisão (TTC), e mais elevados de Tempo de pós invasão (PET) (no trajeto C); os restantes parâmetros (Velocidade máxima dos veículos (MaxV)), Diferença da velocidade máxima dos veículos (ΔV) e Taxa inicial de desaceleração (DR)) foram inferiores, relativamente ao cenário base, à exceção de ΔV que foi superior, mas comprovou-se que o aumento não era significativo ($p\text{-value} > 0,05$). Posto isto, foi possível definir o cenário 3 como o preferencial a implementar na cidade de Aveiro, e que melhoraria a qualidade da mobilidade ciclável através do aumento da segurança rodoviária. As alterações implementadas ao caso de estudo (cenários alternativos) provocaram alterações no desempenho do tráfego, sendo que o maior número de pára-arrancas ocorreu no cenário 2, e o menor no 3, com uma diferença de 16% entre eles; em consequência o maior atraso no tráfego (mais 3% que o cenário base) foi verificado no cenário 2.

Keywords

Abstract

Mobility, Road Safety, Conflicts, Cycling, Motor Vehicles

The cycling mobility becomes an increasingly valid option. However, one of the more prominent arguments given by people for not regularly use the bike is related to the lack of road safety. In fact, the increase in the number of bicycles on public roads creates conflicts with motor vehicles, with impacts on the safety and performance of road traffic.

The main objective of this dissertation is the analysis of conflicts between bicycles and motor vehicles in the city of Aveiro, over three different paths (A, B and C), in 5 different scenarios (baseline and four alternative). The baseline scenario is the case study, while in the alternative scenario 1 cycle routes have been implemented along all paths. In the alternative scenarios 2 and 3 the number of bicycles introduced in the simulation increased by 10 times compared to the case study, with the particularity that in the alternative scenario 3, a proportion of motor vehicles have been removed (correspondent to their occupation rate, in relation to the number of bicycles that were introduced in the network). Finally, in the fourth alternative scenario reduced speed zones along all paths (maximum speed 30 km/h) were created. Models of traffic simulation and analysis of road safety were used, such as *VISSIM* and *SSAM*, respectively. With this study the safest and with less traffic flow paths were selected, and the implementation of solutions to prevent conflicts between bicycles and motorized vehicles was analysed.

In the most of the performed comparisons, none of the paths was revealed as the preferred in all parameters of road safety. In some alternative scenarios there has been a decrease in the total number of conflicts, but an increase in the potential occurrence of effective vehicle collisions. In other cases, the severity of potential collisions has also been higher due to the decrease of registered conflicts. However, by statistical analysis (t test), it was possible to verify which representative measures had significant differences ($p\text{-value} < 0,05$) in the alternative scenarios compared to the baseline. Scenario 3 showed a smaller number of total conflicts, Time to Collision (TTC) equal values, and higher numbers of Post-Encroachment Time (PET) (on path C); the remaining parameters (Maximum speed (MaxV), Maximum speed differential (ΔV) and Deceleration Rate (DR)) were lower in comparison to the baseline scenario, except for ΔV which was higher, but the increase was not significant ($p\text{-value} > 0,05$). So, it was possible to define scenario 3 as the preferential to implement in the city of Aveiro, and it will improve the quality of cycling mobility by increasing the road safety. The changes implemented to the case study (alternative scenarios) caused changes in traffic performance, with the highest number of stops and delay occurring in alternative scenario 2, and the lowest in alternative 3, with a difference of 16% between them; as a result the longest delay in traffic (plus 3 % than the baseline scenario) was verified in scenario 2.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Enquadramento	1
1.2	Objetivos	6
1.3	Estrutura da Dissertação	7
2	Revisão Bibliográfica	9
3	Metodologia e Métodos	13
3.1	Estudo de Caso	15
3.2	Monitorização Experimental	19
3.3	Modelo VISSIM	23
3.3.1	Conceção da Rede e Modelação de Tráfego	24
3.3.2	Calibração	35
3.4	Modelo SSAM	39
3.4.1	Identificação de Conflitos e Análise de Segurança Rodoviária	40
3.5	Estabelecimento de Cenários	45
4	Apresentação e Discussão de Resultados	49
4.1	Considerações Iniciais	49
4.1.1	Cenário Base	50
4.1.2	Cenário Alternativo 1	53
4.1.3	Cenário Alternativo 2	56
4.1.4	Cenário Alternativo 3	59
4.1.5	Cenário Alternativo 4	62
4.2	Análise Estatística de Resultados	65
4.3	Desempenho de Tráfego	72
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	75
	Referências Bibliográficas	79
	Anexos	83

Lista de Tabelas

3.1	Calendarização de tarefas	14
3.2	Indicações para o trajeto A	16
3.3	Indicações para o trajeto B	17
3.4	Indicações para o trajeto C	18
3.5	Número de bicicletas por hora e local	20
3.6	Contagem total de bicicletas na hora de ponta da manhã (8h-9h)	21
3.7	Distribuição de velocidade no perfil "Velocidade Bicicleta Normal"	28
3.8	Distribuição de velocidade no perfil "Velocidade Bicicleta Curva"	28
4.1	Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Base	50
4.2	Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 1	53
4.3	Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 2	56
4.4	Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 3	59
4.5	Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 4	62
4.6	Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 1	66
4.7	Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 1	66
4.8	Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 2	67
4.9	Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 2	68
4.10	Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 3	69
4.11	Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 3	69
4.12	Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 4	70
4.13	Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 4	71
4.14	Comparação estatística do desempenho de tráfego, entre o cenário base e os cenários alternativos	73

A.1	Resultados calibração	84
A.2	Número de bicicletas por nó no Cenário Base	85
A.3	Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 1	85
A.4	Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 2	85
A.5	Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 3	86
A.6	Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 4	86
A.7	Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base	87
A.8	Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base	88
A.9	Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base	89
A.10	Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base	90
A.11	Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base	91

Lista de Figuras

1.1	Consumo final de energia por setor nos países da UE-28 em 2012 [Mtep] [1]	1
1.2	Emissões de gases com efeito de estufa por setor nos países da UE-28 em 2012 [milhões de toneladas equivalentes de CO_2] [1]	2
1.3	Repartição modal nos centros das cidades em 2009 e 2011 [5]	3
1.4	Evolução no tráfego de bicicletas em Berlim desde 1951 até 2009 [5]	3
1.5	Vítimas mortais por meio de transporte nos países da UE em 2013 [9]	4
1.6	Utilização diária da bicicleta nos países da UE [14]	5
1.7	Número de vítimas mortais por número de ciclistas nos países da UE [14]	6
3.1	Fluxograma	13
3.2	Local de partida (a) e de chegada (b) dos trajetos [33]	16
3.3	Representação do Trajeto A [33]	17
3.4	Representação do Trajeto B [33]	18
3.5	Representação do Trajeto C [33]	19
3.6	Presença de bicicletas na cidade [34, adaptado]	20
3.7	Pontos de observação para contagem de bicicletas [33]	21
3.8	Locais escolhidos como pontos de observação na contagem de bicicletas [33]	22
3.9	Criação do tipo de via "Ciclovía"	24
3.10	Modelação das vias (a) "Estrada" e (b) "Ciclovía"	25
3.11	Secções em falta na rede: (a) Trajeto B e (b) Trajeto C	26
3.12	Criação e definição do tipo (a) e classe (b) de veículo "Bicicleta"	27
3.13	Criação do perfil de velocidades para a bicicleta ("Normal" e "Curva")	28
3.14	Associação dos perfis de velocidade ao veículo "Bicicleta"	29
3.15	Definição do comportamento do ciclista na ciclovía: (a) " <i>Following</i> "; (b) " <i>Lane Change</i> "; (c) " <i>Lateral</i> "; (d) " <i>Signal Control</i> "	31
3.16	Marcação de sinalética e passadeiras no pavimento	32
3.17	Definição das zonas de velocidade reduzida	32
3.18	Definição das zonas de conflito	33
3.19	Implementação de semáforos na ciclovía	34
3.20	Definição dos trajetos A, B e C em VISSIM	34
3.21	Introdução do número de bicicletas na rede	35
3.22	Representação de um nó na rede	36
3.23	Locais de criação dos nós	36
3.24	Seleção dos campos para registo na base de dados	37
3.25	Criação e ligação da base de dados com o VISSIM	37
3.26	Definição dos parâmetros para a simulação	38

3.27	Seleção das opções para extração dos ficheiros *.trj e valores do Atraso por veículo ("Delay")	39
3.28	Fluxograma da interface entre os modelos VISSIM e SSAM	40
3.29	Definição dos ângulos de conflito [48]	41
3.30	Representação e identificação das medidas representativas de segurança [35, adaptado][48]	42
3.31	Menu <i>Configuration</i> para criação e definição do cenário em estudo	43
3.32	Menu <i>Conflicts</i> com a listagem de todos os conflitos	43
3.33	Menu <i>Summary</i> com o resumo do número e tipo de conflitos	44
3.34	Menu <i>Filter</i> para filtragem de conflitos	44
3.35	Menu <i>Map</i> para visualização e filtragem de conflitos	45
3.36	Trajetos definidos para o cenário base [33]	46
3.37	Criação de ciclovias ao longo dos trajetos A, B e C [33]	47
3.38	Representação do cenário base (a) e do cenário alternativo 4 (zonas de velocidade reduzida representadas a vermelho) (b)	48
4.1	Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Base	52
4.2	Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 1	55
4.3	Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 2	58
4.4	Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 3	61
4.5	Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 4	64
4.6	Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 1	65
4.7	Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 2	67
4.8	Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 3	68
4.9	Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 4	70
4.10	Comparação do número total de veículos, pára-arrancas e atraso, em todos os cenários	72
4.11	Comparação do tempo de viagem e velocidade média dos veículos, em todos os cenários	73
A.1	Conceito de <i>Wiedemann</i> para o algoritmo <i>Car following model</i> [30] [35, adaptado]	83
A.2	Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA1	92
A.3	Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA1	92
A.4	Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA1	92
A.5	Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA2	93
A.6	Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA2	93
A.7	Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA2	93
A.8	Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA3	94
A.9	Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA3	94
A.10	Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA3	94
A.11	Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA4	95
A.12	Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA4	95
A.13	Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA4	95
A.14	Resultados do teste t para a variável TTC do trajeto A, entre o cenário base e o alternativo 1	96

Lista de Acrónimos

ANSR	Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária
CA1	Cenário Alternativo 1
CA2	Cenário Alternativo 2
CA3	Cenário Alternativo 3
CA4	Cenário Alternativo 4
CB	Cenário Base
CO_2	Dióxido de carbono
COWI	Empresa de Engenharia e Planeamento de Tráfego
DeltaV	Diferença da velocidade máxima dos veículos ("Maximum speed differential")
DR	Taxa inicial de desaceleração ("Deceleration Rate")
FHWA	Federal Highway Administration
H_0	Hipótese nula do teste estatístico
MaxV	Velocidade máxima dos veículos ("Maximum speed")
PET	Tempo de pós invasão ("Post-Encroachment Time")
SSAM	Surrogate Safety Assessment Model
t	Teste estatístico <i>Student</i>
TTC	Tempo até à colisão ("Time to Collision")
UA	Universidade de Aveiro
UE	União Europeia
UE-28	União Europeia 28 estados membros
VISSIM	Verkehr in Städten Simulation
*.trj	Ficheiros com a trajetória dos veículos

Capítulo 1

Introdução

1.1 Enquadramento

A eficiência da rede de transportes é um assunto que preocupa governos e outros setores da sociedade, seja por motivações económicas ou ambientais. Além do elevado preço dos combustíveis, as externalidades associadas à emissão de poluentes são cada vez mais uma fonte de preocupação global.

A taxa de desenvolvimento sócio-económica inflacionou mundialmente o crescimento e a capacidade de mobilidade pessoal. Este crescimento é uma das principais razões da dependência atual dos derivados de petróleo e, consequentemente, da manifestação de graves problemas associados à contaminação ambiental.

Em 2012, o setor dos transportes representou cerca de 31,8% [1] do consumo final de energia dos países membros da União Europeia (UE-28) (figura 1.1) e foi responsável por 19,7% [1] das emissões de gases com efeito de estufa (figura 1.2).

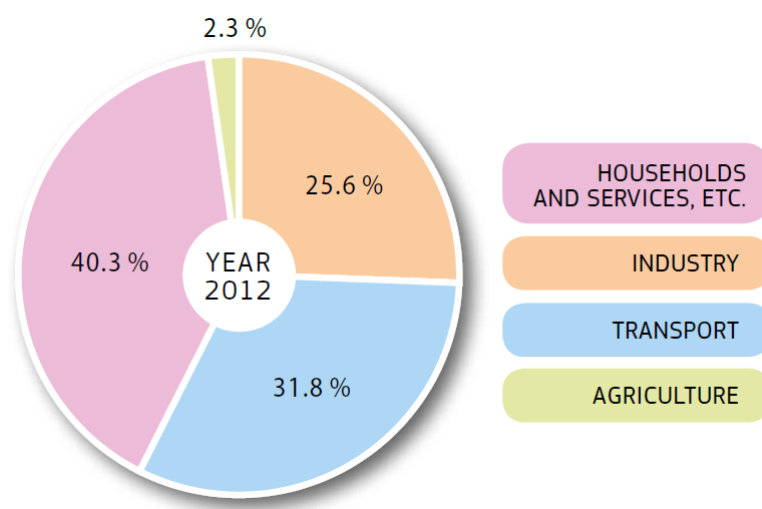


Figura 1.1: Consumo final de energia por setor nos países da UE-28 em 2012 [Mtep] [1]

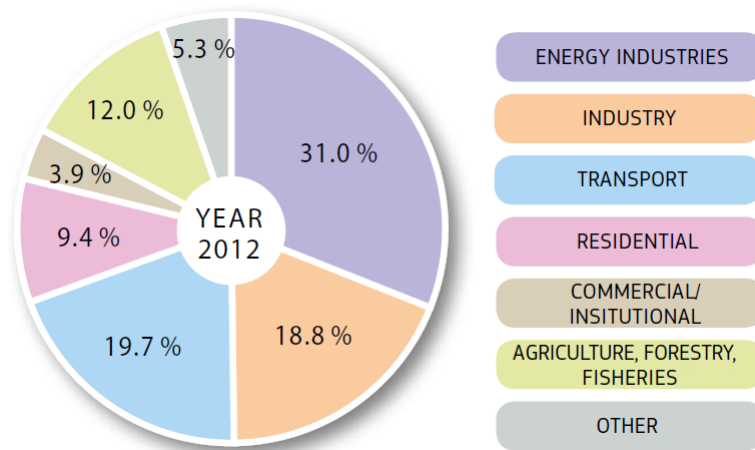


Figura 1.2: Emissões de gases com efeito de estufa por setor nos países da UE-28 em 2012 [milhões de toneladas equivalentes de CO_2] [1]

O congestionamento de tráfego no acesso a cidades de média/grande dimensão são origem de fenómenos de ineficiência energética e aumento das emissões de poluentes, além de causarem prejuízos económicos significativos. A criação de sistemas de transporte sustentáveis tem constituído uma aposta na redução destes impactes.

A mobilidade sustentável é também uma grande aliada no combate à diminuição das emissões e poluentes atmosféricos, e no contorno à dependência dos derivados do petróleo. Assim, têm surgido cada vez mais projetos e campanhas de sensibilização e promoção para a utilização diversificada dos vários meios e formas de transporte disponíveis.

Segundo o Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável, em Inglês *World Business Council for Sustainable Development*, a mobilidade sustentável define-se pela "capacidade de dar resposta às necessidades da sociedade em deslocar-se livremente, aceder, comunicar, negociar e estabelecer relações, sem sacrificar outros valores humanos e ecológicos hoje ou no futuro" [2].

É neste âmbito que se enquadra a bicicleta como uma mais-valia económica, ambiental e de saúde pública. A utilização da bicicleta nas deslocações quotidianas está em crescimento, não só em Portugal, mas em toda a Europa. Atualmente, cada viagem média diária de automóvel dos condutores Portugueses e Europeus (UE-28), tem uma extensão inferior a 10-15 km [3] e 22-26 km [4], respetivamente.

A utilização de modos de transporte sustentáveis (andar a pé, de bicicleta e de transportes públicos) é mais preponderante nos centros das cidades. Normalmente, mais de 60% da quota modal provém destes modos de transporte [5]. A percentagem da população que se desloca diariamente a pé e de bicicleta varia entre as cidades Europeias. Mas, no geral, a contribuição destes modos suaves está a aumentar ao longo do tempo. No período entre 2009 e 2011 (figura 1.3) as deslocações a pé e de bicicleta aumentaram. Por exemplo, na cidade de Estocolmo aumentaram de 34,0% (em 2009) para 44,6% (em 2011). Também, na região da Île-de-France (que inclui Paris), passaram de 50,0% para 55,4%. A utilização dos transportes motorizados diminuiu em ambas as cidades durante o mesmo período, sugerindo que alguns utilizadores diários do automóvel comutaram para modos de transporte não motorizados. No entanto, em Turim e Estugarda, ocorreram diminuições na percentagem de deslocações a pé e de bicicleta.

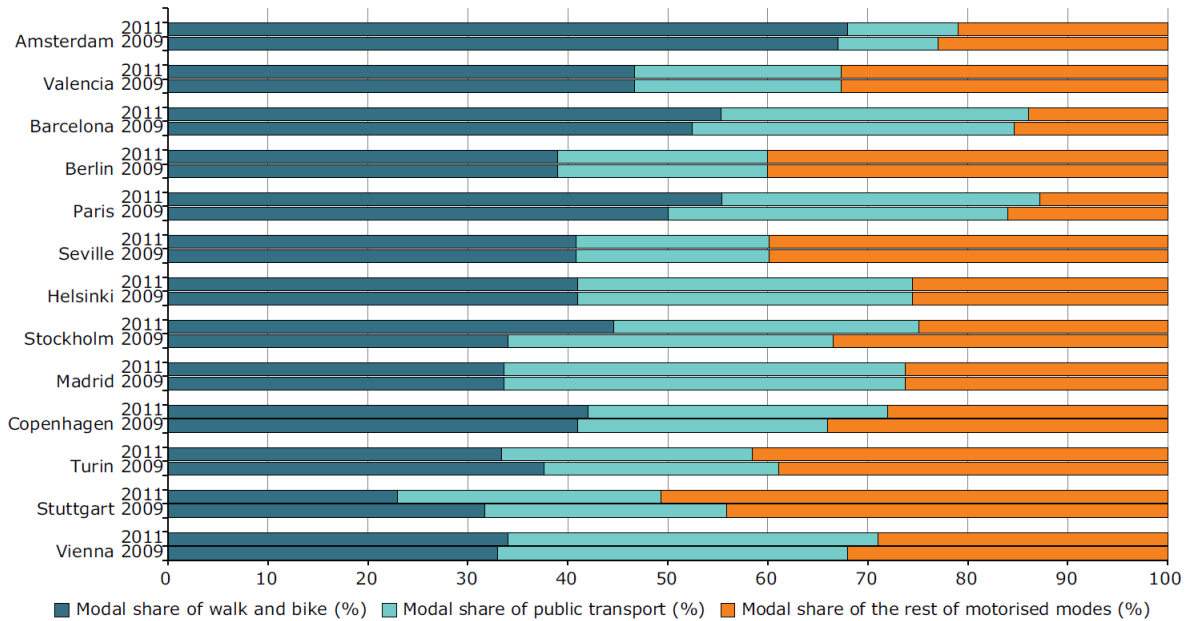


Figura 1.3: Repartição modal nos centros das cidades em 2009 e 2011 [5]

O investimento em infraestruturas cicláveis ou zonas de acalmia do tráfego são opções válidas e vantajosas na melhoria da mobilidade ciclável. Por exemplo, em Berlim (Alemanha) os investimentos realizados em modos suaves de transporte trouxeram efeitos visíveis, sendo que 4 em 10 deslocações diárias são realizadas a pé ou de bicicleta [5]. As contagens no tráfego também têm mostrado o crescente número de bicicletas ao longo dos últimos anos.

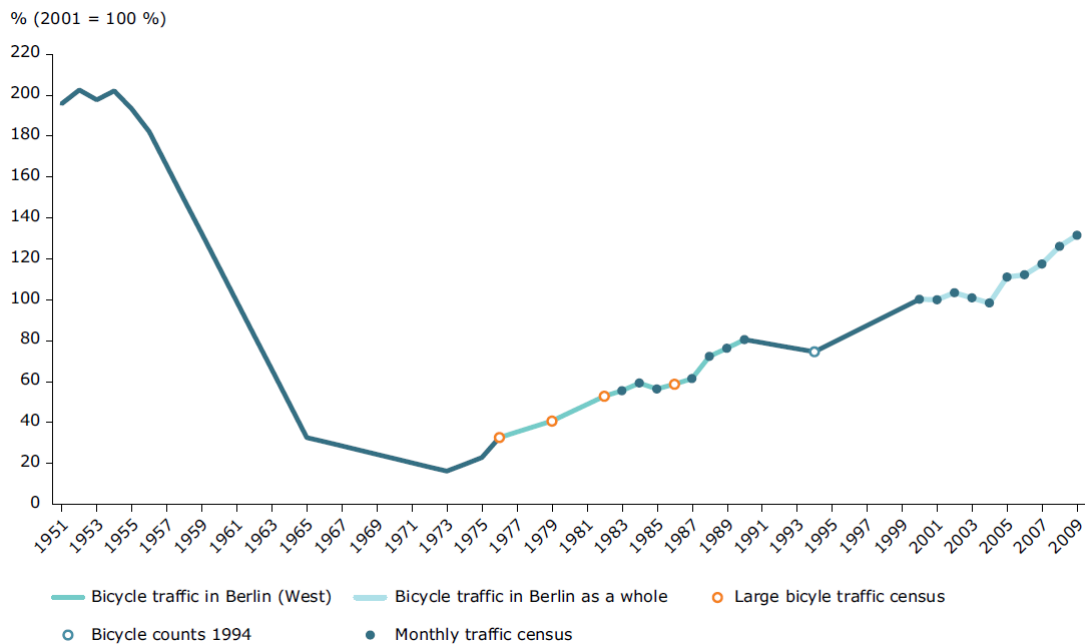


Figura 1.4: Evolução no tráfego de bicicletas em Berlim desde 1951 até 2009 [5]

Com a previsão do crescente número de ciclistas na Europa [6], surge um projeto denominado de *EuroVelo*, co-financiado pela Comissão Europeia, que consiste numa rede de 14 rotas de longa distância que unem todo o continente europeu, promovendo assim a mobilidade e diversidade de infraestruturas cicláveis na Europa [7]. Prevê-se que a rede esteja completa em 2020.

Desta forma, e numa época de crise económica, a mobilidade ciclável torna-se uma opção cada vez mais interessante, principalmente para distâncias curtas. Além disso, existe na atualidade um maior interesse nas deslocações feitas de bicicleta, não só pelo facto de ser uma mais valia para a saúde, mas também porque ajuda a reduzir a poluição sonora e atmosférica e os problemas de congestionamento [8].

No entanto, um dos argumentos mais relevantes dados pelos cidadãos para não utilizarem a bicicleta com mais frequência, prende-se com a falta de segurança na via.

Segundo estatísticas de 2013 nos países da União Europeia a percentagem de vítimas mortais, em acidentes rodoviários envolvendo bicicletas, foi de 7,52% (figura 1.5).

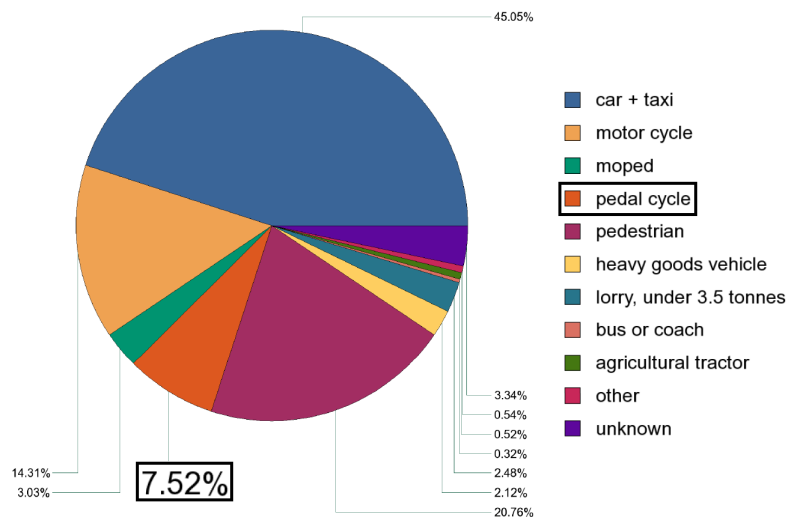


Figura 1.5: Vítimas mortais por meio de transporte nos países da UE em 2013 [9]

No entanto, observa-se que em anos anteriores (2001 a 2010) existiu um decréscimo na ordem dos 38% no número total (3500) de vítimas mortais envolvendo ciclistas [10].

Recentemente a Federação Europeia de Ciclistas (*European Cyclists Federation*) realizou um estudo envolvendo os países da UE-28 e utilizadores da bicicleta como forma de transporte diário. Desse estudo, 8% respondeu que utilizava a bicicleta como meio de transporte diário principal [11].

Posteriormente foram colocadas três questões dirigidas somente a quem respondeu que utilizava a bicicleta diariamente: "Quais são as razões para a utilização deste meio de transporte?"; "Quais são os problemas mais graves que afetam o tráfego no seu país?"; "Qual das alternativas deveria ser prioritária na melhoria das condições de segurança das estradas no seu país?". Por sequência de perguntas, 49% respondeu por conveniência, 62% devido ao congestionamento do trânsito e por fim, 49% sugeriu melhorar a condição das estradas.

De facto, devido ao crescente número de bicicletas a circular na via pública criam-se conflitos com os veículos motorizados com impactes ao nível do desempenho do tráfego.

Seria de esperar que um aumento do número de ciclistas na via, como resultado da promoção da bicicleta fizesse aumentar esses números, mas tendo em conta que a taxa de acidentes envolvendo bicicletas e veículos motorizados também está relacionada com a quantidade de ciclistas numa determinada zona, sabe-se que em países onde as pessoas andam regularmente de bicicleta existe uma taxa de mortalidade e de conflitos envolvendo bicicletas e veículos motorizados mais baixa (figuras 1.6 e 1.7). À medida que cada ciclista acumula mais quilómetros, ao longo do tempo, torna-se mais experiente e consciente dos perigos da estrada. Por outro lado, quando aumenta o número de bicicletas a circular na via, os condutores dos veículos motorizados tornam-se mais conscientes da presença das mesmas e têm mais consideração e cuidados para com elas [12]. Relacionando também o número de ciclistas e habitantes existentes, países como a Dinamarca ou a Holanda são suscetíveis a proporcionar uma melhor infraestrutura para os ciclistas do que os países onde os ciclistas se encontram em menor número, diminuindo assim a probabilidade de ocorrência de conflitos [13].

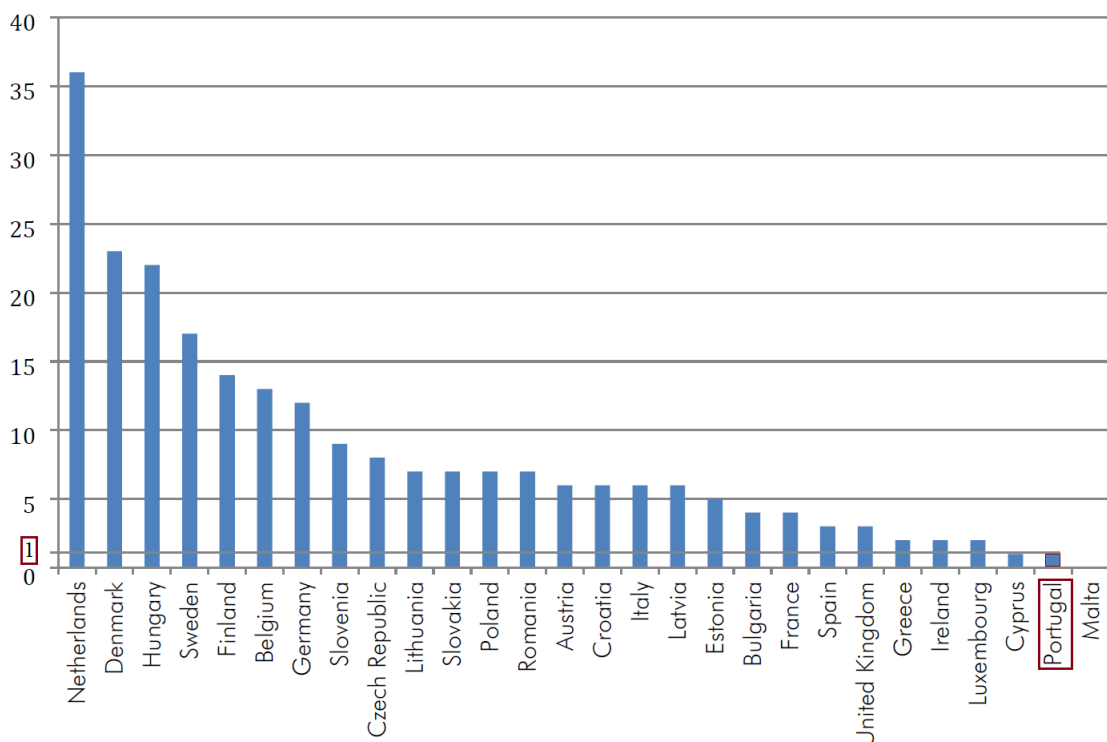


Figura 1.6: Utilização diária da bicicleta nos países da UE [14]

No caso concreto de Portugal, a Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária (ANSR), entre o ano de 2010 e 2013, registou 5741 acidentes envolvendo bicicletas, os quais provocaram 134 vítimas mortais e 284 feridos graves, sendo a colisão com veículos motorizados o evento mais frequente [15]. Ainda segundo a ANSR, os acidentes com bicicletas representaram 4,5% do total de acidentes registados nas estradas portuguesas.

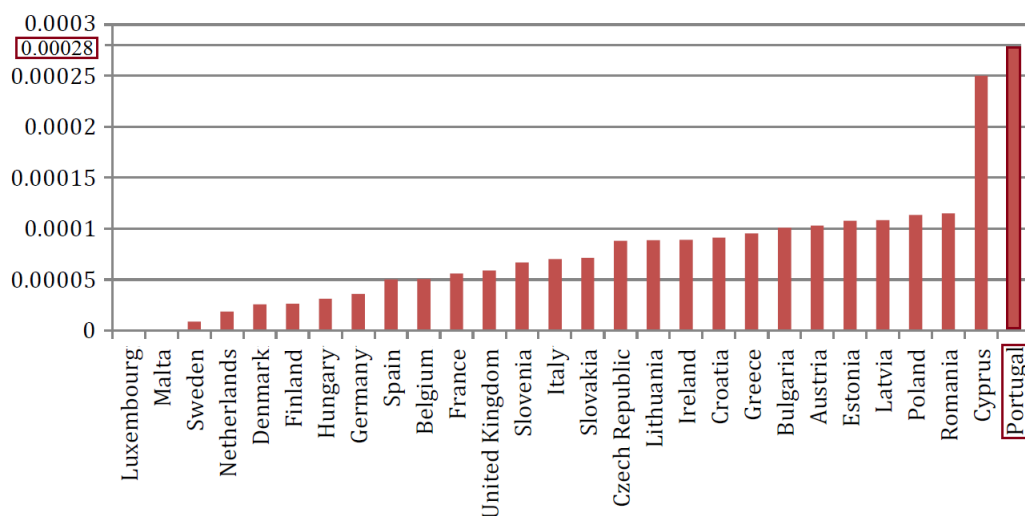


Figura 1.7: Número de vítimas mortais por número de ciclistas nos países da UE [14]

Em janeiro de 2014 entraram em vigor as alterações ao Código da Estrada, onde os ciclistas ganham novos direitos e adquirem um novo estatuto no ambiente rodoviário, passando a serem equiparados a veículos motorizados [16]. A Federação Portuguesa de Cicloturismo e Utilizadores de Bicicleta afirma que "em cada dez acidentes envolvendo ciclistas que chegam à associação, a culpa dos automobilistas verifica-se em nove" [17], prevendo que com as novas alterações ao código o número de acidentes, apresentado pela ANSR, venha a diminuir.

Devido aos variados conflitos em termos de tráfego rodoviário presentes nos dias de hoje, torna-se importante analisar diferentes situações que evitam a sua concretização. Para tal podem ser utilizados modelos de simulação numérica que permitem construir um número ilimitado de cenários virtuais de modo a analisar conflitos e obter variáveis representativas da segurança rodoviária.

1.2 Objetivos

O objetivo principal desta Dissertação consiste no estudo de conflitos entre veículos motorizados e bicicletas nos percursos preferenciais para a Universidade de Aveiro (UA), nomeadamente Estação Ferroviária de Aveiro - UA, no período de ponta da manhã, associado a um elevado volume de tráfego e onde a probabilidade de conflitos rodoviários envolvendo os veículos em estudo poderá ser maior.

Pretende-se enquadrar no âmbito deste trabalho a utilização de modelos de simulação do tráfego rodoviário e de análise de conflitos entre veículos (*VISSIM* e *SSAM*, respetivamente) para construir e analisar diversos cenários.

Posteriormente foram estabelecidos cenários alternativos para melhoria da mobilidade ciclável. Procura-se, assim, analisar a minimização dos conflitos criados e aumentar a segurança inerente à situação simulada. Desta forma, será possível definir os melhores percursos em termos do benefício ao nível da melhoria da mobilidade ciclável através da deteção do número e tipo de conflitos e análise das medidas representativas da segurança rodoviária.

Esta Dissertação enquadra-se nas atividades da Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave da Universidade de Aveiro, mais propriamente no projeto "Deslocações Seguras para a UA".

1.3 Estrutura da Dissertação

A presente Dissertação está organizada em 5 capítulos.

O Capítulo 1 apresenta o enquadramento envolvendo o tema em estudo, sendo abordados vários pontos tais como a importância e contributo da mobilidade ciclável no combate à poluição ambiental, a promoção e utilização da bicicleta em deslocações diárias, sinistralidade, infraestruturas cicláveis e modelos de simulação como forma de estudo e resolução de conflitos rodoviários. São ainda apresentados os objetivos desta Dissertação, bem como a estrutura da mesma.

No Capítulo 2 apresenta-se uma revisão bibliográfica sobre estudos realizados envolvendo o uso de modelos de micro-simulação na análise de conflitos rodoviários e posterior avaliação dos mesmos através de modelos de segurança rodoviária.

No Capítulo 3 descreve-se a metodologia utilizada na realização desta Dissertação, que engloba a descrição detalhada do caso em estudo, correlação de variáveis de tráfego com a ocorrência de acidentes rodoviários e trajetos e cenários propostos a serem estudados. São ainda apresentados os métodos escolhidos, nomeadamente os modelos de tráfego e de análise de conflitos (*VISSIM* e *SSAM*) e promove-se uma comparação com outros modelos existentes.

No Capítulo 4 os resultados são apresentados e discutidos, tendo em conta a definição dos trajetos e cenários propostos.

Finalmente, no Capítulo 5 as conclusões deste estudo são apresentadas, bem como sugestões sobre possíveis trabalhos futuros e pontos a melhorar.

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

O presente capítulo tem como finalidade a apresentação de estudos envolvendo conflitos entre veículos e segurança rodoviária inerente aos mesmos, em diversos trajetos/cenários.

Na pesquisa bibliográfica apresentada, os autores recorrem principalmente a 3 métodos de análise de conflitos rodoviários: modelos de micro-simulação conjugados posteriormente com modelos de análise de segurança rodoviária; modelos matemáticos como forma de estimar e analisar conflitos no tráfego; sistemas de visão (sistemas automáticos de aquisição e tratamento de dados de filmagens) e de vídeo (análise manual de dados obtidos através de filmagens).

O estudo de Huang et al. [18] teve como principal objetivo identificar se o modelo de simulação de tráfego *VISSIM* e o modelo de avaliação de segurança rodoviária *SSAM - Surrogate Safety Assessment Model*, eram capazes de fornecer estimativas razoáveis para os conflitos de tráfego identificados em cruzamentos semaforizados. Os conflitos simulados foram posteriormente comparados com conflitos de tráfego reais, medidos em dez cruzamentos semaforizados. Um dos objetivos consistiu também na coerência de conflitos, entre os simulados e os reais, e na possibilidade de melhoria desses resultados através da calibração do modelo *VISSIM* e de ajustes na definição de conflitos no *SSAM*. O procedimento de calibração do modelo proposto neste estudo tem potencial para ser usado em aplicações de engenharia na avaliação de segurança em cruzamentos semaforizados. O resultado da análise dos novos dados (pós-calibração) mostrou que no geral dos conflitos, principalmente na simulação de colisões pela retaguarda, ocorreu uma melhoria face aos resultados anteriores onde não existiu calibração prévia dos modelos. O comportamento dos condutores no trânsito é variado e por vezes imprevisível, tornando-se complicado exportar esses comportamentos para modelos de simulação. Constatou-se que os conflitos simulados envolvendo manobras de condução inesperadas, tais como mudanças de via ilegais e repentinas, não foram bons indicadores comparativamente à análise e observação dos dados reais.

Foi realizado outro estudo sobre a capacidade de previsão, ou não, do número de acidentes provenientes de conflitos calculados através de modelos de micro-simulação [19]. Analisou-se a relação quantitativa entre os conflitos detetados nos cruzamentos, no modelo em estudo (neste caso o *S-PARAMICS*) e os acidentes registados numa rede rodoviária regional. O indicador de segurança mais conhecido nestes modelos é a situação de conflito, em que dois veículos se aproximam um do outro e ocorrerá colisão se não

forem tomadas medidas para a evitar. No entanto, à semelhança do estudo anterior, este também se limita à análise de conflitos em cruzamentos. Os resultados mostram uma relação quantitativa positiva entre os dados reais e os simulados. Não foi possível analisar todos os conflitos e situações reais devido às limitações do software. O modelo também não foi capaz de simular os conflitos envolvendo ciclistas e peões.

Em Sungnam, na Coreia, foi realizado um estudo em interseções da cidade com a finalidade de analisar e avaliar o risco de possíveis conflitos e posterior acidente nos mesmos [20]. Foi introduzida uma nova e diferente abordagem, que consiste em avaliar o risco de conflito, entre veículos, usando o *SSAM* através de dados de trajetórias provenientes de um modelo de micro-simulação, neste caso o *VISSIM*. O conhecimento da posição dos veículos, velocidade e aceleração, em função do tempo, permite o cálculo de indicadores de segurança mais relevantes do que aqueles deduzidos a partir de valores macroscópicos. A utilidade da simulação microscópica para análise da segurança rodoviária depende da capacidade e funcionalidade do modelo de micro-simulação em ser, ou não, capaz de simular o comportamento do condutor. Um processo correto de calibração destes modelos é também um passo bastante importante na aproximação à realidade e na tradução do comportamento real dos condutores.

Obeng-Boampong et al. [21] avaliaram, em termos de segurança rodoviária, a eficiência de algumas vias de acesso, no estado do Texas. O objetivo consistiu na realização de simulações, através do modelo *VISSIM* e *SSAM* com o intuito de identificar possíveis falhas nas implementações atuais e gerar alternativas com a finalidade de melhorar a segurança rodoviária, evitando conflitos e acidentes rodoviários. Dados de tráfego e características geométricas das vias, em estudo, foram recolhidos e analisadas para posterior calibração dos modelos. Foi possível, através de simulação computacional, solucionar problemas de tráfego de uma forma mais económica e menos trabalhosa.

Entre 2006 e 2008 foi desenvolvido um projeto denominado de *WATCH-OVER* [22], co-financiado pela Comissão Europeia, que consistiu na conceção e desenvolvimento de um sistema de prevenção de acidentes envolvendo utentes vulneráveis da via, em áreas urbanas e extra-urbanas. O sistema baseia-se na implementação de sensores de comunicação e de visão de curto alcance, que permitem examinar e detetar conflitos, em diversos cenários de tráfego, em que peões, ciclistas e motociclistas estão conjuntamente em contacto com carros e outros veículos motorizados. O desafio técnico foi o desenvolvimento de um sistema confiável e versátil, para diferentes utentes vulneráveis, na deteção de conflitos em tempo real, assegurando assim, através de análises posteriores, uma melhoria significativa de possíveis conflitos e complicações na fluidez do tráfego.

Igualmente na temática da prevenção e análise de conflitos rodoviários foi realizado um projeto, através da *Federal Highway Administration - U.S. Department of Transportation*, condicionado a rotundas e alguns cruzamentos, com o intuito de estudar conflitos e a causa dos mesmos, envolvendo diversos veículos e meios de transporte [23]. No Capítulo 5 - "*Safety*" são tratados especificamente conflitos envolvendo bicicletas e veículos motorizados, em vários tipos de rotundas e outros cruzamentos, onde são especificados e exemplificados os principais incidentes que ocorrem, em cada uma, o porquê da ocorrência dos mesmos e a forma de os evitar e solucionar. É também formulada uma comparação entre diversos cenários, envolvendo cada uma das rotundas e cruzamentos em estudo, em que foi possível filtrar quais os tipos de rotunda e cruzamentos que proporcionam uma melhor fluidez de tráfego, evitando assim o aumento no número de conflitos.

Archer [24] realizou a sua tese de doutoramento sobre avaliação da segurança no trá-

fego e previsão, com base em indicadores de segurança e técnicas de medição associadas. Uma importante área da investigação visa também a identificação das relações entre os indicadores de segurança e outros processos e parâmetros de tráfego. O autor afirma que as informações envolvendo essas relações são consideradas úteis para a modelação preventiva de segurança. A segunda parte deste trabalho diz respeito ao uso de modelos de micro-simulação, como forma de simular cenários de tráfego e meio de comparação com os implementados. São ponderadas e analisadas as limitações e os potenciais deste método, tais como as dificuldades em representar com perfeição o comportamento dos condutores aquando da realização de uma infração ou manobra inesperada. Uma das conclusões que é possível retirar é o facto de que a simulação microscópica pode ser usada, com um nível razoável de precisão, para estimar efeitos na segurança rodoviária, com base na aplicação e utilização de indicadores de segurança, desde que os modelos de simulação em uso sejam devidamente calibrados e validados com dados empíricos, só depois, o comportamento dos utentes na estrada pode ser representado com eficácia.

Partindo do facto de que em muitos países, as colisões entre bicicletas e veículos motorizados têm sido a causa de graves, e por vezes mortais, acidentes (principalmente em intersecções), Wang et al. [25] iniciaram o seu estudo com a finalidade de descobrir a causa de ocorrência dos mesmos, nos locais em análise. Para tal, os autores dividem primeiramente os conflitos em três tipos/classes e estimam a ocorrência de cada um deles, através da teoria da probabilidade. A diferença entre esta metodologia e outros estudos já realizados é que a abordagem proposta refere explicitamente o risco de ocorrência de cada tipo específico de conflito (bicicleta-veículo motorizado) e o fluxo de tráfego associado ao mesmo. A metodologia foi demonstrada com recurso a dados registados durante 4 anos em 115 intersecções na Região Metropolitana de Tóquio. Os dados contêm o registo de acidentes, fluxo de tráfego envolvendo bicicletas e veículos motorizados e a caracterização completa de cada cruzamento em análise. Na realização do estudo, foram usados três modelos de regressão binomial negativa (um correspondente a cada tipo de acidente). O valor do coeficiente e o seu nível de significância foram estimados para cada variável seleccionada.

Partindo do mesmo princípio referido acima, os ciclistas são envolvidos com alguma frequência em acidentes, principalmente quando interagem com veículos motorizados em cruzamentos sem sinalização [26]. Com o intuito de estudar conflitos entre bicicletas e veículos motorizados, numa das principais rotundas da Suécia, Silvano et al., separam em 4 categorias distintas as ocorrências que eram mais comuns entre os veículos em estudo, através de modelos de regressão linear, com base no comportamento dos condutores perante a presença de ciclistas. Posteriormente, as diferenças de velocidade entre os veículos foram analisadas e verificou-se que a alteração de velocidade dos ciclistas não comprometia a segurança dos mesmos na via. Por outro lado, comprova-se que se os veículos motorizados reduzirem a sua velocidade, em alguns casos, para valores na ordem dos 20 km/h, a ocorrência de conflitos entre eles e os ciclistas diminuiria, concluindo-se assim que a velocidade é um dos fatores de grande influência na segurança rodoviária e na redução de conflitos e acidentes entre ciclistas e veículos motorizados.

Zangenehpour et al. [27] investigaram os efeitos da segurança rodoviária em ciclovias aquando da intersecção com a via principal e respetivos veículos presentes na mesma. Foram realizadas 90 horas de filmagens como forma de estudo e obtenção de trajetórias e intersecções entre veículos motorizados e ciclistas. Foram consideradas as ciclovias, com viragens à esquerda e direita, em cruzamentos, e foram tidos em conta volumes de tráfego.

Depois de definidas as interseções a estudar, foram analisados os conflitos existentes nas mesmas. Os resultados finais demonstram que na aproximação a cruzamentos as viragens realizadas à direita são mais seguras de realizar onde não existe descontinuidade de ciclovia, comparativamente àquelas onde não existe qualquer ciclovia. Por outro lado, viragens à esquerda, ou seja, atravessamento completo do cruzamento para outra via, comparativamente à inexistência de ciclovia ou interrupção da mesma, não ocorreria melhoria na redução de conflitos.

Por fim, é apresentado um projeto que foi realizado na cidade de Copenhaga, Dinamarca, envolvendo micro-simulação na análise de tráfego com bicicletas [28]. Devido ao elevado volume diário de ciclistas, foram implementadas iniciativas e análises destinadas a aumentar a capacidade e fluidez dos mesmos, com o objetivo principal de reduzir o tempo de viagem, nas vias e ciclovias mais movimentadas da cidade. Para tal, surgiu o projeto intitulado de "*Microsimulation of cyclists in peak hour traffic*", realizado pela empresa de engenharia e planeamento de tráfego COWI [29] e que teve como principal objetivo investigar a possibilidade de representar com detalhe o comportamento dos ciclistas no tráfego, em horário de ponta, recorrendo a um modelo de micro-simulação. Com o intuito de obter resultados, o mais realísticos possível, recorreram ao software VISSIM, como forma de representação da capacidade e comportamento dos ciclistas. O projeto teve duas áreas principais de foco: a primeira debruçou-se sobre a captação, processamento e estudo de dados; a outra, teve como finalidade a tradução dos resultados obtidos em parâmetros atualizados e válidos, que foram posteriormente implementados para a simulação de ciclistas, diariamente e em hora de ponta, na cidade de Copenhaga.

Em resumo, alguns estudos apresentados revelam que no geral os modelos de micro-simulação aliados a modelos de segurança rodoviária, são bastantes vantajosos no que toca à simulação de conflitos de tráfego, com detalhe, envolvendo veículos motorizados, bicicletas e peões, em diversos cenários tais como cruzamentos semaforizados, interseções, rotundas e passadeiras como partes integrantes de uma estrutura viária completa ou um trajeto específico definido. Modelos matemáticos são também usados para estudo de conflitos entre veículos, mas normalmente associados a singularidades específicas, principalmente cruzamentos e rotundas. A tecnologia associada a sistemas de visão (onde a aquisição e tratamento de dados obtidos por filmagens são realizados automaticamente) é essencial sobretudo na gestão do tráfego.

No entanto, apesar da pesquisa bibliográfica realizada, constatou-se que existem poucos estudos envolvendo, em conjunto, o modelo de micro-simulação VISSIM e o modelo SSAM, na simulação e análise de conflitos rodoviários envolvendo bicicletas e veículos motorizados, ao longo de trajetos pré-definidos.

Capítulo 3

Metodologia e Métodos

A metodologia adotada nesta Dissertação é apresentada no fluxograma da figura 3.1 e descrita pormenorizadamente a seguir à mesma.

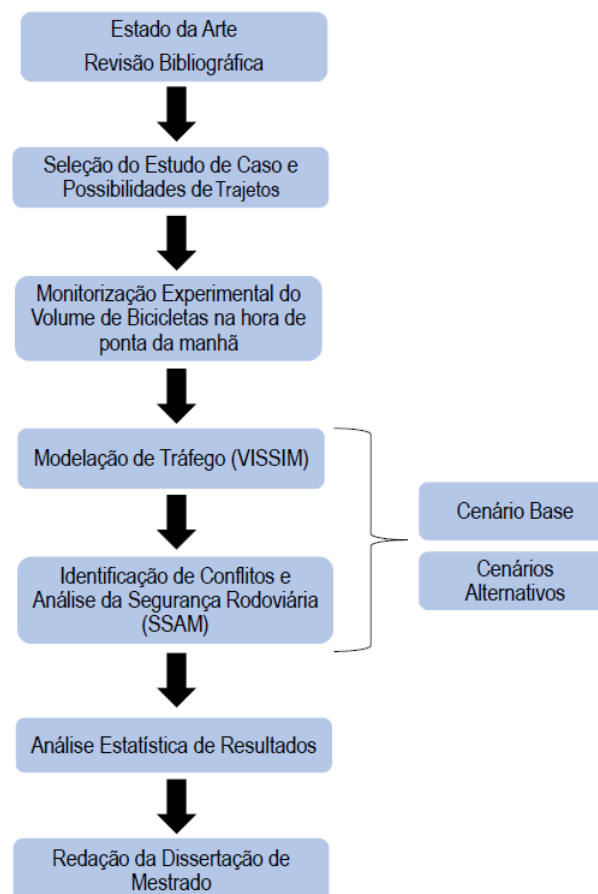


Figura 3.1: Fluxograma

Este trabalho está dividido essencialmente em três grandes partes.

Primeiramente o estudo de caso (cenário base) é apresentado, composto por 3 diferentes trajetos (A, B e C), todos eles com a particularidade de terem a mesma origem (Estação Ferroviária de Aveiro) e destino (Universidade de Aveiro - Reitoria). Depois de completa a modelação de tráfego procedeu-se à calibração do modelo. Seguidamente, o processo de simulação final é iniciado, os resultados são guardados em ficheiros com a extensão *.trj, onde depois será possível, através dos dados da trajetória dos veículos presentes nos mesmos, definir os melhores percursos em termos do benefício ao nível da melhoria da mobilidade ciclável através da deteção do número e tipo de conflitos e análise das medidas representativas da segurança rodoviária. Para tal, os modelos *VIS-SIM* (utilizado na modelação da rede de tráfego e extração de trajetórias dos veículos) e *SSAM* (utilizado na identificação de conflitos e medidas representativas da segurança rodoviária) foram fundamentais à realização deste trabalho.

Para além do cenário base, cenários alternativos serão propostos e simulados, com o intuito de estudar o impacto na segurança rodoviária e no número de conflitos provocados. Alterações ao nível de gestão e fluxo do tráfego, velocidade dos veículos, implementação de novas ciclovias, serão alguns dos parâmetros a sofrer alteração.

Por fim, foi realizada a análise estatística dos resultados obtidos (conflitos verificados e segurança rodoviária) em todos os cenários. São também apresentados os principais fatores, positivos e/ou negativos, das alterações realizadas nos cenários alternativos, face ao cenário base. Depois de realizada a análise, são retiradas todas as conclusões finais e considerações sobre todo o estudo, tal como sugestões futuras e/ou trabalho que ficou por realizar.

Como meio de alcançar os objetivos descritos foi implementada a calendarização de tarefas (tabela 3.1), com o período pré-definido de 5 meses (fevereiro a julho 2015), onde foram agendadas todas as tarefas necessárias à realização desta Dissertação.

Tabela 3.1: Calendarização de tarefas

2015						
Tarefa	fevereiro	março	abril	maio	junho	julho
1						
2						
3						
4						
5						
6						

As tarefas apresentadas foram divididas e sequenciadas da seguinte forma:

Tarefa 1 Revisão bibliográfica

- Consulta de literatura englobando a temática da mobilidade ciclável na Europa e em Portugal, problemas e soluções relacionados com o uso e promoção da bicicleta no dia-a-dia. Estudos sobre modelos de micro-simulação conjugados posteriormente com modelos de análise de segurança rodoviária, modelos matemáticos como forma de estimar e analisar conflitos no tráfego e sistemas de visão (sistemas automáticos de aquisição e tratamento de dados de filmagens) e de vídeo (análise manual de dados obtidos através de filmagens).

Tarefa 2 Modelação de tráfego (veículos motorizados e bicicletas) em percursos urbanos

- Realização de monitorização experimental, onde se procedeu à contagem de bicicletas durante dois dias, no período de hora de ponta da manhã (8h-9h), em 6 pontos estratégicos dos 3 trajetos definidos para o estudo de caso. Utilizando o modelo *VISSIM* o fluxo de tráfego urbano é simulado com grande nível de detalhe e precisão. O *VISSIM* é um programa de simulação microscópica desenvolvido pela *PTV AG* [30] para modelação de fluxo de tráfego, tendo um elevado nível de detalhe e precisão ao nível de tráfego urbano, incluindo peões, bicicletas e veículos motorizados.

Tarefa 3 Análise de conflitos rodoviários para uma dada situação de tráfego

- Através do modelo *SSAM* - desenvolvido pela *Federal Highway Administration (FHWA)* [31] - a representação da análise de segurança para uma dada situação de tráfego é realizada. O seu processamento baseia-se em dados da trajetória do veículo resultantes do modelo *VISSIM*.

Tarefa 4 Estabelecimento de cenários alternativos para melhoria da mobilidade ciclável

- Nesta fase, foram simulados cenários alternativos com o principal objetivo de reduzir os conflitos entre veículos motorizados e bicicletas. Desta forma foi possível definir para o caso de estudo os melhores trajetos (mais rápido, seguro, com menor tráfego e/ou soluções para evitar conflitos entre veículos e bicicletas) em termos de mobilidade ciclável.

Tarefa 5 Análise estatística de resultados

- Realização de cálculos estatísticos e sua respetiva visualização, tanto do cenário base, como dos cenários alternativos que serão simulados. Comparação estatística de ambos e representação dos mesmos.

Tarefa 6 Escrita da Dissertação de Mestrado

- Redação da Dissertação e planeamento de artigo para submissão a uma conferência. Defesa da Dissertação de Mestrado.

3.1 Estudo de Caso

Em toda a Região de Aveiro cerca de 15 mil pessoas usam a bicicleta diariamente como meio de transporte principal, representando 4% dos 380 mil habitantes do Baixo Vouga, mais do dobro da média nacional (1,6%) [32].

Considerando os números apresentados e o facto desta Dissertação ser realizada na Universidade de Aveiro (UA), onde todos os dias, vários estudantes se deslocam para esta instituição de ensino, fez todo o sentido escolher a cidade de Aveiro como o ponto de análise e estudo de conflitos entre bicicletas e veículos motorizados, e formas de os reduzir e/ou evitar. Adicionalmente, uma das temáticas que se encontra em análise pela

Plataforma Tecnológica da Bicicleta e Mobilidade Suave prende-se exatamente com a promoção das deslocações seguras em bicicleta para a UA.

Para tal, foram implementados 3 diferentes trajetos, todos eles com a particularidade de coexistirem no ponto de origem (Estação Ferroviária de Aveiro) e no ponto de chegada (Reitoria da UA) - figura 3.2.



(a) Estação Ferroviária de Aveiro



(b) Universidade de Aveiro (Reitoria)

Figura 3.2: Local de partida (a) e de chegada (b) dos trajetos [33]

Na definição dos trajetos foram escolhidos os percursos mais comuns entre os ciclistas (trajeto A - figura 3.3 e trajeto B - figura 3.4) e um trajeto que combina parte dos anteriores mas que se torna mais longo, logo mais demorado (por isso menos escolhido), devido a um desvio efetuado para uma zona onde o tráfego motorizado é menor (trajeto C - figura 3.5), mas que tem a principal vantagem assente na melhoria da segurança rodoviária, logo à partida, na diminuição de conflitos entre veículos motorizados e bicicletas.

Tabela 3.2: Indicações para o trajeto A

Trajeto A \mapsto 2,4 km	
Origem	Estação Ferroviária de Aveiro
↓	Av. Dr. Lourenço Peixinho
↙	R. do Eng. Oudinot
○	R. do Cmte. Rocha e Cunha
↓	Av. 5 de Outubro
○	Av. Santa Joana
↓	Av. de Artur Ravara
○	Av. Padre Fernão de Oliveira
Destino	Universidade de Aveiro (Reitoria)

Com início na Estação Ferroviária de Aveiro, o ciclista dirige-se para a Avenida Doutor Lourenço Peixinho, onde se mantém em circulação pela ciclovia presente ao longo de quase toda a Avenida, até alcançar o primeiro cruzamento semaforizado onde irá virar à esquerda com direção à Rua do Engenheiro Oudinot. Ao entrar na rotunda, presente na mesma, o utilizador viário desloca-se para a Rua do Comandante Rocha e Cunha (2^a saída da rotunda), onde permanecerá até permutar sem realizar qualquer desvio para a Avenida 5 de Outubro, onde tem início a ciclovia que se prolonga até ao fim da próxima Avenida (Avenida Santa Joana). No fim da Avenida 5 de Outubro aparecerá uma rotunda (rotunda da Sé) que dá ligação à Avenida Santa Joana, convergindo esta posteriormente

na Avenida de Artur Ravara. No final da Avenida, e ao entrar na rotunda do Hospital, onde existe ciclovias ao longo de toda a rotunda, a 2ª saída deverá ser a tomada, o que dará acesso à Avenida Padre Fernão de Oliveira. Depois de a percorrer por completo, também pela ciclovias existente em quase toda a sua extensão, o ciclista chega ao fim do trajeto (Reitoria da UA) (tabela 3.2).

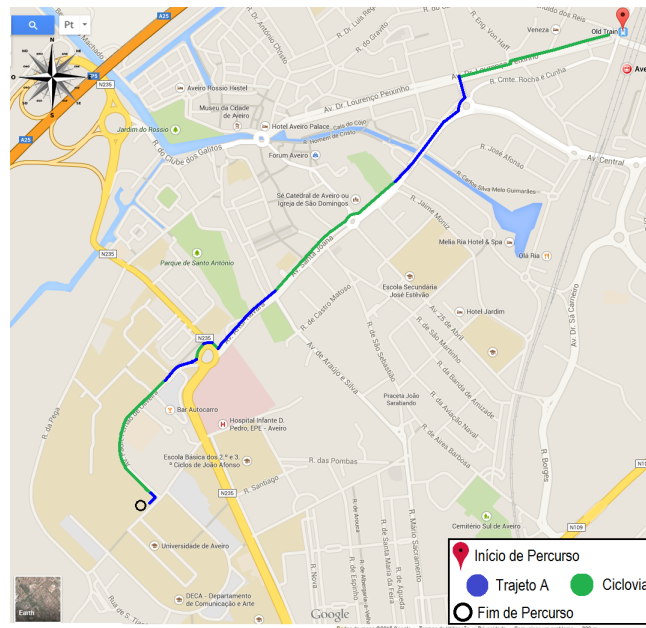


Figura 3.3: Representação do Trajeto A [33]

Tabela 3.3: Indicações para o trajeto B

Trajeto B \rightarrow 2,3 km	
Origem	Estação Ferroviária de Aveiro
↓	Av. Dr. Lourenço Peixinho
↙	R. do Eng. Oudinot
○	R. do Cmte. Rocha e Cunha
↓	Av. 5 de Outubro
○	Av. Santa Joana
↓	Av. de Artur Ravara
○	Av. da Universidade
↗	Av. Artur Favara
Destino	Universidade de Aveiro (Reitoria)

Este trajeto é similar ao trajeto anterior (A), existindo apenas alteração na saída a selecionar na rotunda do Hospital (rotunda onde está presente a ciclovias e que surge no final da Avenida de Artur Ravara). Em vez da saída 2, o ciclista opta pela 3ª saída, com direção à Avenida da Universidade. Na mesma, realiza a viragem no primeiro corte à direita para a Avenida Artur Favara, que depois de percorrida dará acesso ao final do trajeto (Reitoria da UA) (tabela 3.3).

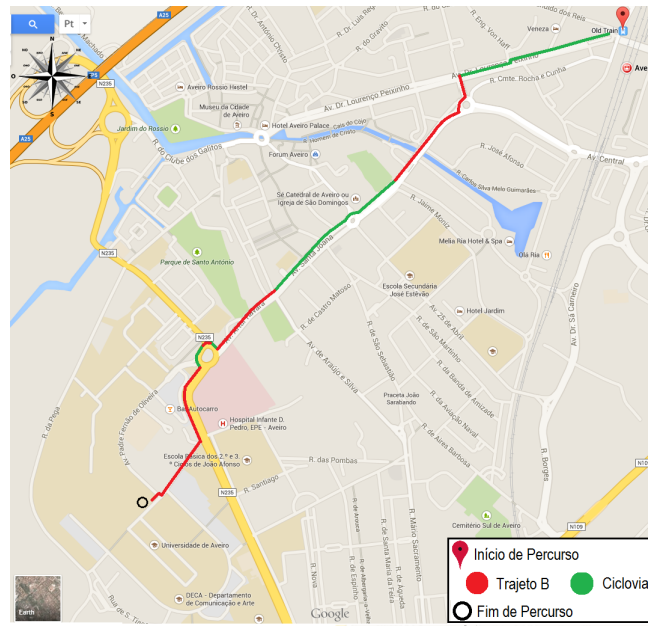


Figura 3.4: Representação do Trajeto B [33]

Tabela 3.4: Indicações para o trajeto C

Trajeto C \rightarrow 3,95 km	
Origem	Estação Ferroviária de Aveiro
↓	Av. Dr. Lourenço Peixinho
○	Rua de Viana do Castelo
↖	R. do Clube dos Galitos
↗	R. da Liberdade
↗	Largo do Conselheiro Queiroz
↖	Cais dos Moliceiros
↗	R. dos Santos Mártires
↓	Rua da Pega
○	Contornar Campus Universitário
↖	Av. Artur Favara
Destino	Universidade de Aveiro (Reitoria)

Por fim, o último e mais longo trajeto, diferencia-se em grande parte dos anteriores devido ao facto de ser o menos usado pelos utilizadores da bicicleta (muito por causa do tempo extra necessário à realização do mesmo), mas que tem a grande vantagem de incluir zonas onde o fluxo de tráfego motorizado é bastante menor, o que pressupõe maior segurança rodoviária e, em princípio, menos conflitos entre veículos. Por isso, e apesar do tempo extra, torna-se um bom trajeto a ser utilizado pelos ciclistas nas suas deslocações diárias para a Universidade (tabela 3.4).

Se o ciclista optar por este percurso, percorrerá toda a Avenida Doutor Lourenço Peixinho, utilizando as ciclovias presentes na mesma. A ciclovias termina aquando da convergência direta da Avenida para a Rua de Viana do Castelo, onde o final da mesma

dá acesso à Praça General Humberto Delgado (rotunda das pontes). A 2^a saída deverá ser a escolhida, como meio de continuação do trajeto e onde a Rua do Clube dos Galitos tem início. Aquando do aparecimento do primeiro semáforo, a viragem à esquerda, com ligação à Rua da Liberdade, deverá ser selecionada. Na presente Rua, virando à direita dará a ligação com o Largo do Conselheiro Queiroz, que depois de meio contornado, permite efetuar a viragem à direita para o Cais dos Moliceiros. Já no Cais, efetua-se a viragem à direita, dando assim acesso à Rua dos Santos Mártires, rua paralela à Fábrica - Centro de Ciência Viva. No final desta, existe um cruzamento semaforizado que dá acesso à Rua da Pega, onde o ciclista encontra novamente uma ciclovia. Depois de percorrida toda a sua extensão, deverá virar à esquerda, onde tem início o Campus Universitário, que deverá ser contornado através da ciclovia existente. No término da ciclovia a Avenida Artur Favara dará acesso ao destino final do trajeto.

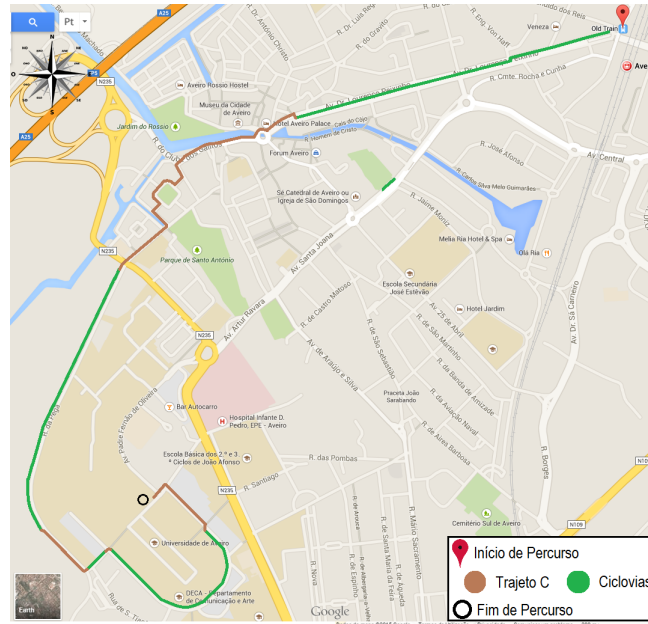


Figura 3.5: Representação do Trajeto C [33]

3.2 Monitorização Experimental

Primeiramente, e antes de iniciar o trabalho de modelação em *VISSIM*, foi necessário saber o número diário de ciclistas a circular na cidade de Aveiro, mais propriamente na hora de ponta da manhã (8h-9h). Numa primeira fase, recorreu-se ao Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro [34] como forma de extração dos dados necessários.

De acordo com este plano, os recenseamentos de tráfego realizados em anos anteriores à data de finalização do documento, demonstraram que as bicicletas têm um peso percentual bastante pequeno, nunca atingindo o 1% do total de tráfego, chegando apenas a um máximo de 0,78% a meio da Av. Doutor Lourenço Peixinho. Ainda assim, procedeu-se à conversão das percentagens de bicicletas em números absolutos, nos locais de interesse, em relação aos veículos motorizados (figura 3.6). Para tal, através de dados

de tráfego fornecidos pela Câmara Municipal de Aveiro [35], mais propriamente o número de veículos na hora de ponta, calculou-se o valor de bicicletas nessa hora. Os resultados são visíveis na tabela 3.5.

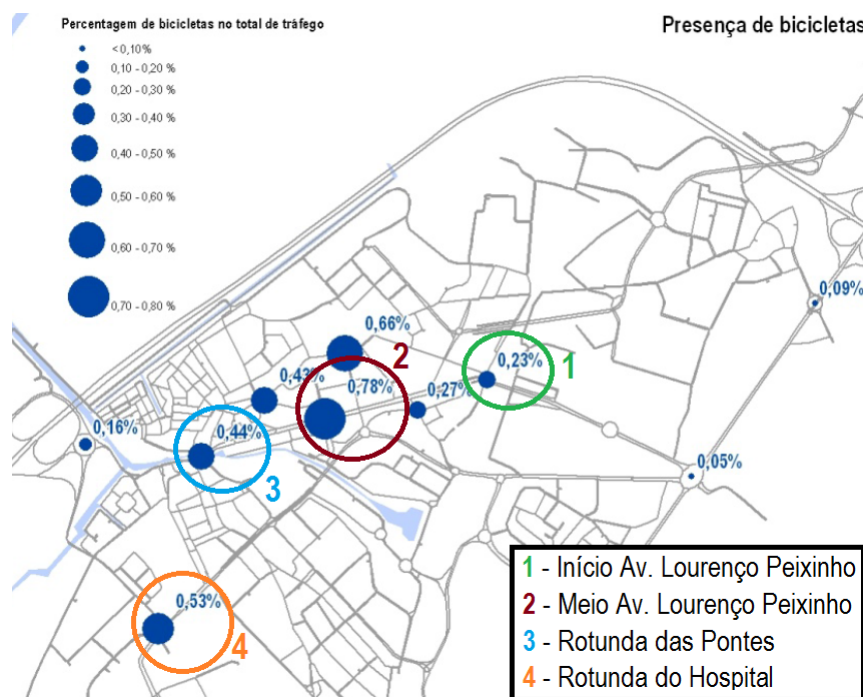


Figura 3.6: Presença de bicicletas na cidade [34, adaptado]

Tabela 3.5: Número de bicicletas por hora e local

Locais	Rácio de bicicletas [34]	Veículos por hora [35]	Nº bicicletas
1	0,0023	535	1
2	0,0078	1206	9
3	0,0044	1230	5
4	0,0053	1699	9

Tendo por base o reduzido número de bicicletas obtido e o facto dos recenseamentos de tráfego realizados poderem ser antigos, optou-se pela realização de trabalho de campo (contagem de bicicletas). Ao longo da hora de ponta da manhã (8h às 9h), dos dias 14 e 21 de abril de 2015 (ambos com boas condições atmosféricas, ou seja, sem chuva e terças-feiras, que constituem dias válidos à contagem de bicicletas, pelo facto de segunda e sexta-feira serem dias de semana atípicos e aos fins de semana os volumes de tráfego se desviarem do padrão semanal). Com o auxílio de colegas de curso do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro, procedeu-se à contagem do número de bicicletas em 6 pontos específicos da cidade, pontos esses incluídos nos trajetos A, B e C definidos anteriormente. Cada aluno permaneceu num dos pontos definidos para observação durante a hora de ponta para efetuar a contagem. No mapa da figura 3.7 são

apresentados os pontos referentes aos locais escolhidos para observação de bicicletas, e na figura 3.8 visualizam-se cada um deles. Os resultados provenientes do número médio de bicicletas observadas, nos dois dias, são os apresentados na tabela 3.6. Nos pontos 1, 2, 4 e 5, o rácio do número de bicicletas por número de veículos motorizados, correspondeu a 0,011, 0,014, 0,037 e 0,036, respetivamente [35].

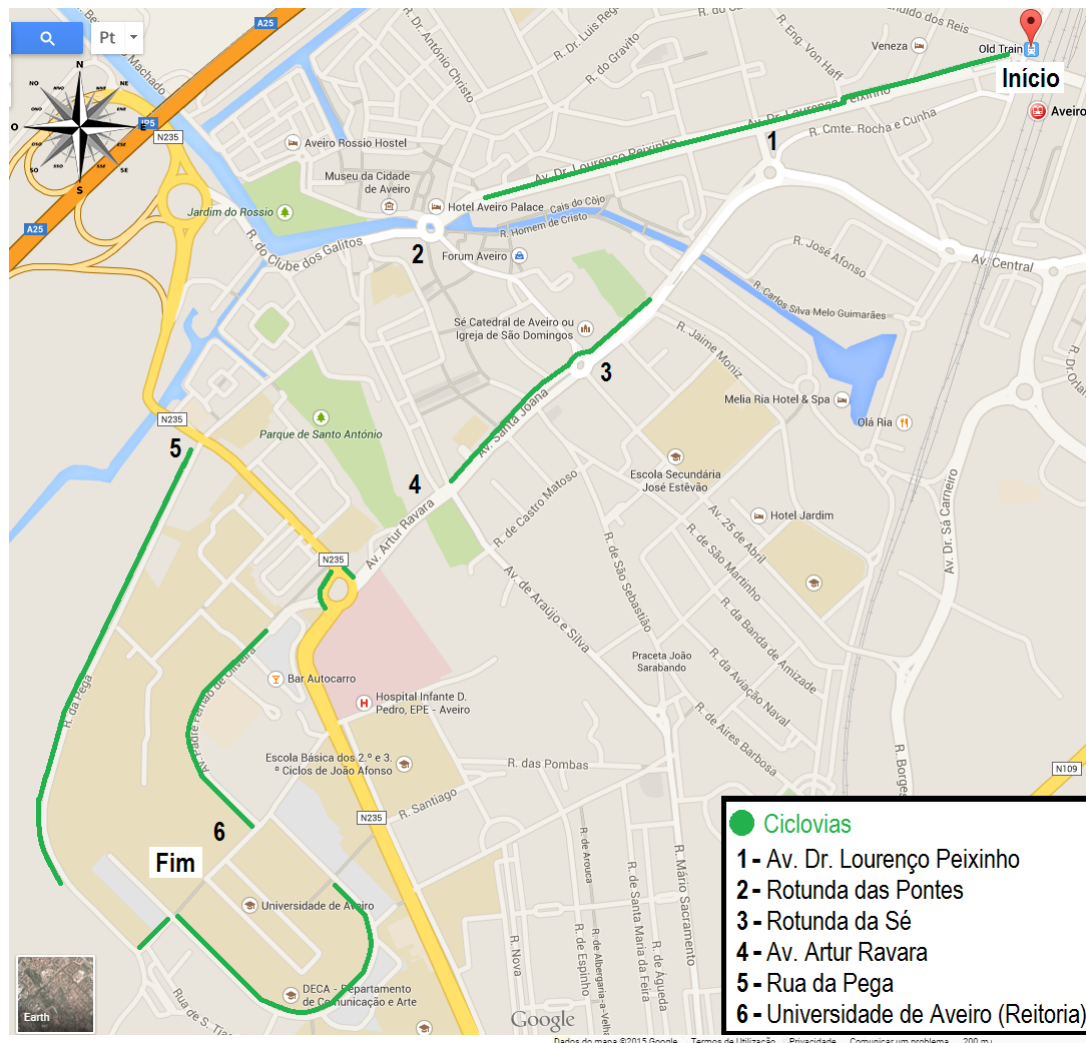


Figura 3.7: Pontos de observação para contagem de bicicletas [33]

Tabela 3.6: Contagem total de bicicletas na hora de ponta da manhã (8h-9h)

	Local	Total (Média)
1	Av. Dr. Lourenço Peixinho	13
2	Rotunda das Pontes	17
3	Rotunda da Sé	25
4	Av. Artur Ravara	25
5	Rua da Pega	11
6	Reitoria (UA)	17



(a) Av. Dr. Lourenço Peixinho



(b) Rotunda das Pontes



(c) Rotunda da Sé



(d) Av. Artur Ravara



(e) Rua da Pega



(f) Reitoria (UA)

Figura 3.8: Locais escolhidos como pontos de observação na contagem de bicicletas [33]

3.3 Modelo VISSIM

A simulação computacional é nos dias de hoje um método imprescindível, de utilização cada vez mais simples e intuitiva, com um nível de detalhe e flexibilidade cada vez maior [36], o que reduz e facilita o processo de estudo e análise, diminuindo por consequência os custos associados aos mesmos [37].

Uma das maiores vantagens dos modelos de micro-simulação de tráfego é a possibilidade de definir critérios específicos de uma dada situação de tráfego real e incorporar fatores externos, à mesma, com o intuito de verificar a influência que os mesmos irão ter, direta ou indiretamente, no tráfego e na segurança rodoviária [24]. De referir que, como em quase todos os modelos e softwares, existem vantagens e limitações na modelação de tráfego, principalmente na representação ou tentativa de replicar o comportamento dos condutores em situações reais, do dia-a-dia. Por vezes existem alterações bruscas de via ou incumprimento das regras rodoviárias, que são impossíveis de prever e simular neste tipo de modelos. Os comercialmente mais utilizados, muito por causa de serem os mais completos e intuitivos, na área da modelação rodoviária, são o *VISSIM* e o *PARAMICS*. O *VISSIM* é utilizado com mais frequência em áreas urbanas, sendo o *PARAMICS* mais adequado para grandes redes viárias e autoestradas [38].

O modelo *VISSIM* (do acrónimo alemão *Verkehr In Städten SIMulation*) foi desenvolvido durante a década de 70 na Universidade de Karlsruhe, na Alemanha [30]. A versão utilizada nesta Dissertação foi a 5.40-08. É um software de micro-simulação, distribuído pelo grupo *PTV - Planung Transport Verkehr* que atua na área do planeamento e otimização de transportes, e que permite simular padrões de tráfego com enorme exatidão e realismo.

Este modelo tornou-se uma ferramenta útil na área da engenharia de tráfego e planeamento, no desenvolvimento de medidas eficazes para a resolução de problemas rodoviários. Possui opções de análise abrangentes, formando assim uma poderosa ferramenta para avaliação e planeamento da infraestrutura de transportes urbanos e interurbanos. Torna-se uma solução ideal para apresentar e representar de forma compreensível, por exemplo ao público, medidas a implementar/alterar na infraestrutura viária ou no tráfego de uma cidade [39]. Considerado como o software líder mundial em simulação de tráfego microscópico, o *VISSIM* possibilita combinar todos os utentes da via e as suas interações mútuas, num único modelo [39].

O software oferece flexibilidade em vários aspetos: o conceito de ligações e conectores permite aos utilizadores modelar geometrias com qualquer nível de complexidade [39]. A definição de atributos ao condutor e a caracterização de veículos permite a parametrização individual, possuindo também a capacidade de simulação veículo a veículo, respetiva posição, velocidade e aceleração [38]. Além disso, um grande número de interfaces proporcionam integração direta com outros sistemas de controlo de semáforos, gestão de tráfego e modelos de emissões [39].

Para além das razões supracitadas, uma das fortes razões para a escolha do *VISSIM* como modelo de micro-simulação eleito para esta Dissertação, incidiu no facto de ser o software utilizado no grupo de investigação "*Transportation Technology*" do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação da Universidade de Aveiro, e também por isso foi possível obter uma licença válida para utilização do mesmo. De referir que este modelo já foi utilizado em várias Dissertações de Mestrado e artigos científicos, tais como as de

P. Fernandes [35], M. Coelho [40], de H. Rodrigues [41], e os de P. Fernandes [42] e de T. Fontes [43], entre outros.

3.3.1 Conceção da Rede e Modelação de Tráfego

O presente sub-capítulo incide na demonstração de todos os parâmetros inseridos e assumidos no software de modelação descrito na secção anterior, que permitiram simular o comportamento de um ciclista na rede viária, em conjunto com outros veículos, com o maior detalhe possível, ao longo dos trajetos definidos (A, B e C), onde serão implementados também cenários alternativos onde a ocorrência de conflitos entre bicicletas e veículos motorizados variará em tipo e número.

Depois da familiarização com o software, e para aproximar à realidade o comportamento de um ciclista em hora de ponta da manhã (8h às 9h), na cidade de Aveiro, recorreu-se ao guia de um projeto realizado sobre modelação de bicicletas com o *VIS-SIM*, na cidade de Copenhaga, Dinamarca [28] e que foi facultado pelo *PTV Group* [39], o qual se demonstrou fundamental no preenchimento de algumas lacunas, que foram detetadas na modelação e caracterização do ciclista e seu comportamento em ciclovias e em estrada.

Com o intuito de não repetir trabalho efetuado em Dissertações anteriores realizadas no âmbito do grupo de investigação, os processos de modelação, calibração e validação do tráfego motorizado na rede de Aveiro, foram realizados previamente por alunos e investigadores do Centro de Tecnologia Mecânica e Automação (TEMA/UA) [35, 40, 41], exceto ciclovias e algumas vias em falta.

Seguidamente são demonstrados todos os passos seguidos no software de micro-simulação de tráfego, desde a definição de uma ciclovias, até à introdução do número de bicicletas na rede, cuja trajetória (ficheiro com a extensão **.trj*), em conjunto com outros veículos presentes na simulação, irá servir de dado de entrada principal a utilizar no modelo *SSAM*.

O primeiro passo foi a criação do tipo de via "Ciclovias" (como é possível observar na figura 3.9), à qual foi atribuída a cor verde uma vez que existe a necessidade de diferenciar a nível visual uma ciclovias de uma via normal do tipo "Estrada" ("*Road surface gray*"), representada a azul (figura 3.10(a)).

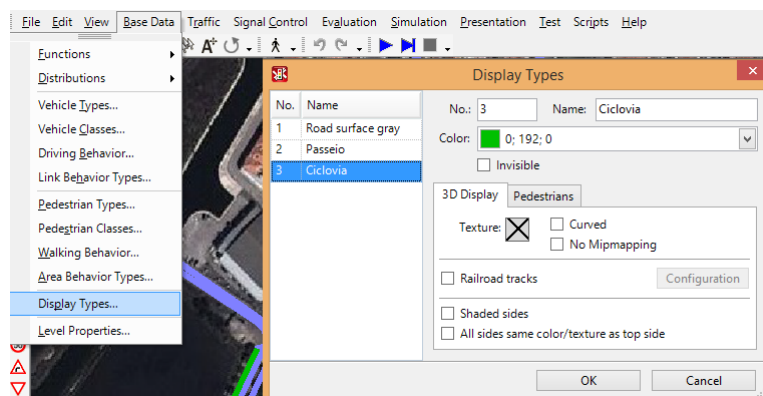
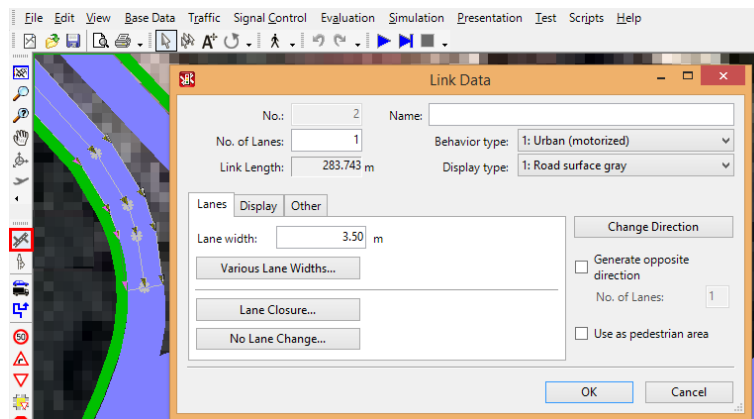
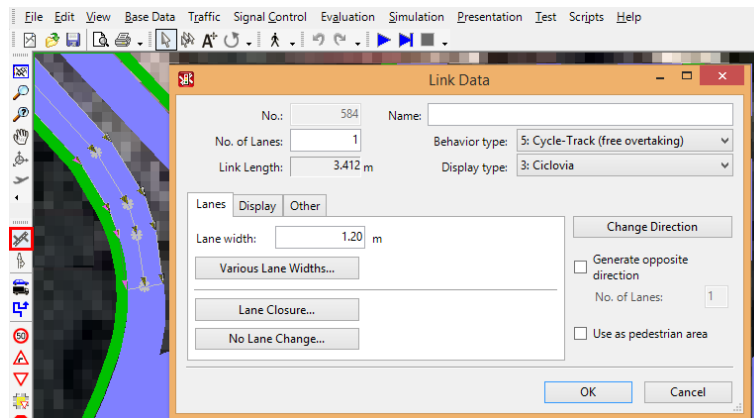


Figura 3.9: Criação do tipo de via "Ciclovias"

Depois de criadas as ciclovias, as mesmas foram modeladas consoante a sua existência nos trajetos definidos (A, B e C) e dimensões reais de 1,20m e 1,50m de largura (valores obtidos por medição durante a monitorização experimental). Para tal, a ferramenta de modelação "*Links & Connectors*" foi utilizada para o processo. Na figura 3.10(a) a janela "*Link Data*" apresenta o tipo de via "Estrada" ("*Behavior Type*" → "*1: Urban (motorized)*") e o comportamento dos veículos na mesma, enquanto que a figura 3.10(b) demonstra o tipo de via "Ciclovía" ("*Behavior Type*" → "*5: Cycle-Track (free overtaking)*") e a atribuição do perfil de comportamento rodoviário aos ciclistas, na mesma (processo demonstrado e caracterizado mais à frente).



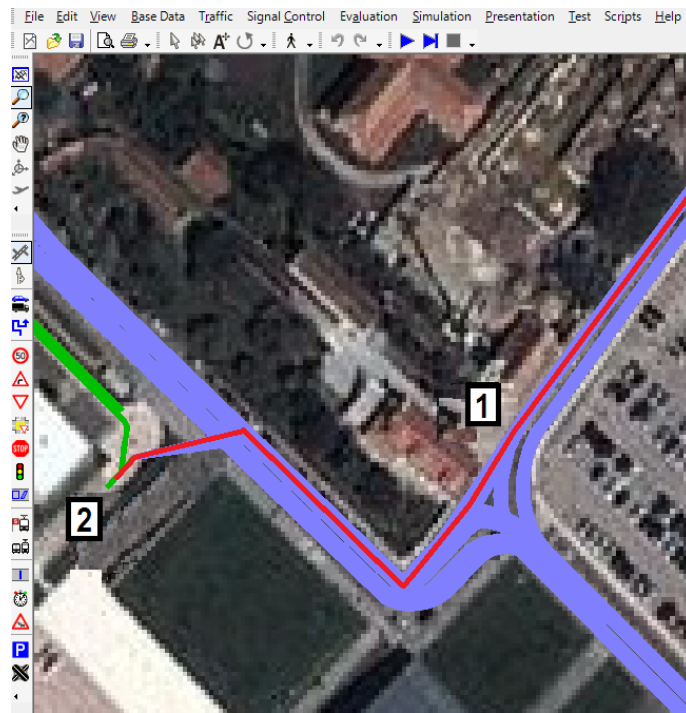
(a)



(b)

Figura 3.10: Modelação das vias (a) "Estrada" e (b) "Ciclovía"

Porém, e apesar da modelação da rede viária de Aveiro estar praticamente completa, existiram duas zonas por onde passam os trajetos pré-definidos que ainda não tinham sido modeladas previamente. Assim, o passo seguinte consistiu na finalização da modelação das vias em falta. Na figura 3.11 são demonstrados os locais a modelar, em falta nos trajetos B e C. Em B, foi a Avenida Artur Favara (1), é a que faz a ligação à Reitoria da Universidade de Aveiro (2) (parte final do trajeto). Em C, o local em falta é a zona do Alboi, que une a Rua do Clube dos Galitos (1) ao Cais dos Moliceiros (2).



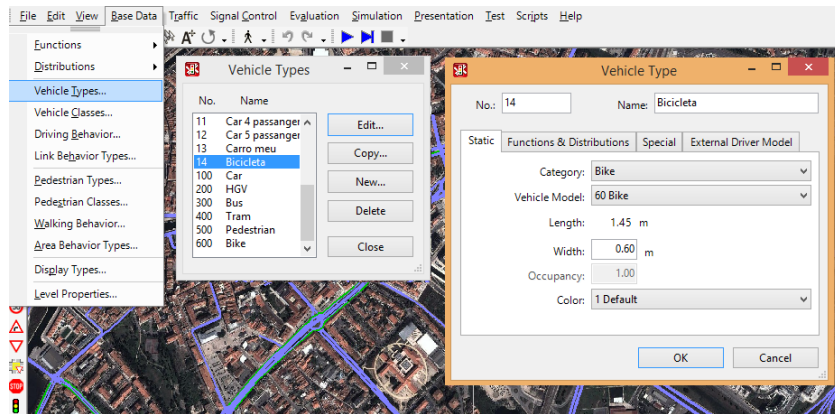
(a)



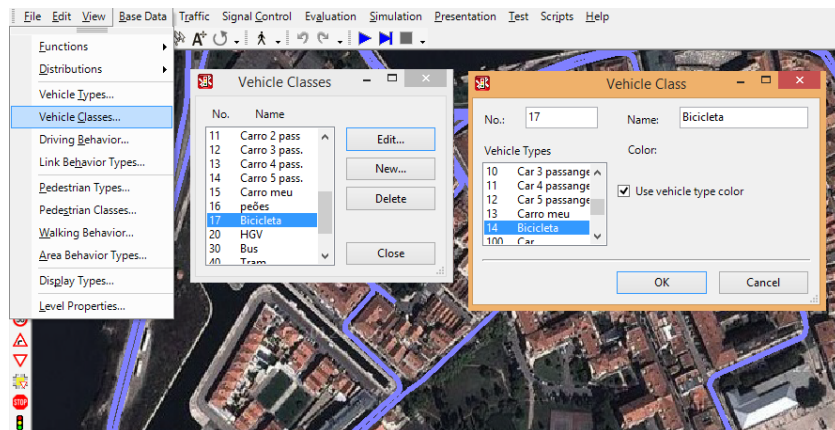
(b)

Figura 3.11: Secções em falta na rede: (a) Trajeto B e (b) Trajeto C

Finalizada a modelação das vias em falta e de todas as ciclovias, a próxima fase incidia na atribuição do tipo e classe de veículo à bicicleta (figura 3.12). A categoria e o modelo "Bike" foram os selecionados, surgindo assim já pré-definido o valor do comprimento da mesma. No entanto, foi necessário definir a largura da bicicleta e para isso, recorreu-se ao guia *Micro Simulation of cyclists in peak hour traffic* [28], através do qual foi possível verificar que a largura média para uma bicicleta comum é de 0,60m.



(a) Definição das características e tipo de bicicleta



(b) Criação da classe de veículo "Bicicleta"

Figura 3.12: Criação e definição do tipo (a) e classe (b) de veículo "Bicicleta"

Uma das características que a cidade de Aveiro possui, é o facto da maior parte da rede viária possuir inclinação praticamente nula, o que facilita e promove automaticamente a mobilidade ciclável e pedonal.

Tendo por base esse facto, a criação da gama de velocidades para a bicicleta limitou-se apenas a dois perfis: "Velocidade Bicicleta Normal" e "Velocidade Bicicleta Curva" (figura 3.13). A correta distribuição da velocidade, por veículo e local, é um parâmetro bastante importante, principalmente devido a fatores como tomadas de decisão e capacidade de movimento. O *VISSIM* permite defini-la em forma de distribuição, em vez de um valor fixo, o que se traduz num fator de representação mais realista em situações de tráfego [30]. A "Velocidade Bicicleta Normal" foi atribuída à maior parte do percurso e a "Velocidade Bicicleta Curva" apenas a partes específicas dos trajetos (curvas

apertadas, algumas rotundas e viragens com elevadas curvaturas). A distribuição de velocidades observada na figura 3.13, para ambos os perfis, está devidamente referenciada e é demonstrada nas tabelas 3.7 e 3.8 [28].

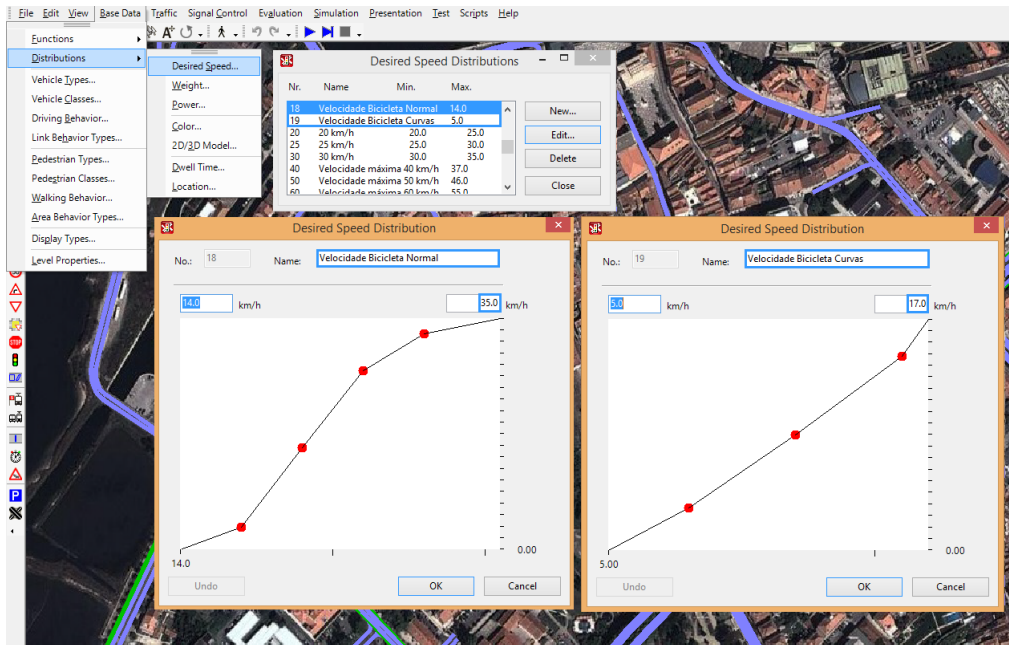


Figura 3.13: Criação do perfil de velocidades para a bicicleta ("Normal" e "Curva")

Tabela 3.7: Distribuição de velocidade no perfil "Velocidade Bicicleta Normal"

Velocidade (km/h)	Distribuição Cumulativa (%)
14	0,00
18	9,00
22	44,00
26	77,00
30	93,00
35	100,00

Tabela 3.8: Distribuição de velocidade no perfil "Velocidade Bicicleta Curva"

Velocidade (km/h)	Distribuição Cumulativa (%)
5	0,00
8	18,75
12	50,00
16	84,38
17	100,00

Uma vez criados os perfis de velocidade, são demonstrados na figura 3.14 os passos necessários para os associar a um veículo específico. Neste caso, somente o perfil "Veloci-

dade "Bicicleta Normal" foi assumido, uma vez que o perfil "Velocidade Bicicleta Curva" será associado, mais à frente, quando forem definidas as áreas de velocidade reduzida.

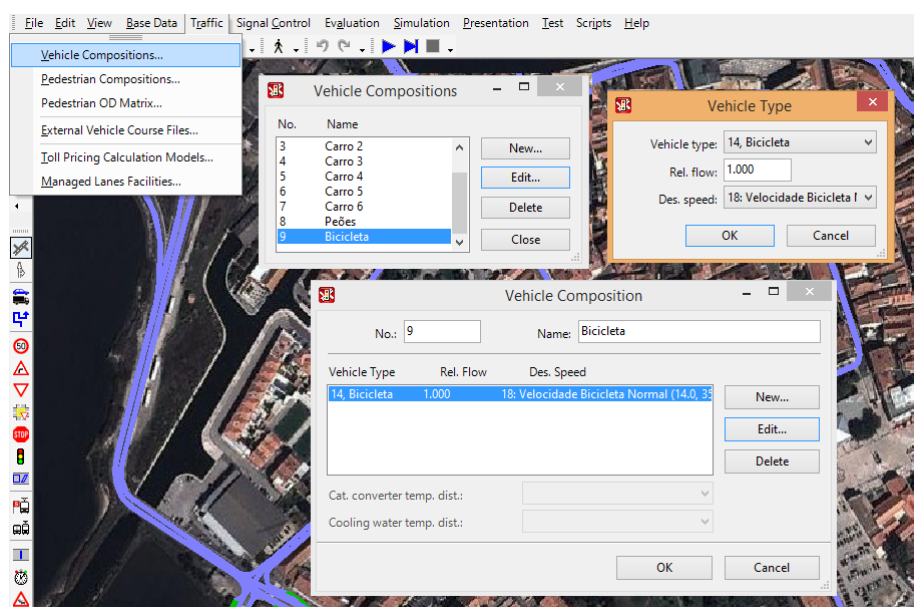


Figura 3.14: Associação dos perfis de velocidade ao veículo "Bicicleta"

Na figura 3.10, apresentada atrás, é visualizado o processo para a modelação das estradas e ciclovias, onde também é associado o comportamento dos veículos na ciclovia (bicicleta) e em estrada ("Behavior Type" → "1: Urban (motorized)" ↔ "5: Cycle-Track (free overtaking)"). Como referido anteriormente, o comportamento dos veículos em estrada já foi assumido previamente, faltando a definição das características para o comportamento do ciclista em ciclovia. O guia, cedido pelo PTV Group [39], do projeto realizado em Copenhaga sobre simulação de tráfego envolvendo bicicletas [28], foi bastante importante para esta etapa.

Os parâmetros a implementar para traduzir o comportamento de um condutor são baseados nas obras de Wiedemann (1974 e 1991). O conceito consiste na tomada de decisão assumida pelo condutor de um veículo que se desloca a uma velocidade superior, em relação a outro, e que inicia a desaceleração. Depois de este se aperceber da presença de outro veículo, mais lento, diminui a sua velocidade uma vez que não tem conhecimento nem percepção da velocidade do outro. Quando esta atinge um valor inferior à do veículo lento, volta a acelerar novamente [30]. Isto resulta num processo iterativo de aceleração e desaceleração, que pode ser compreendido e visualizado na figura A.1, em anexo.

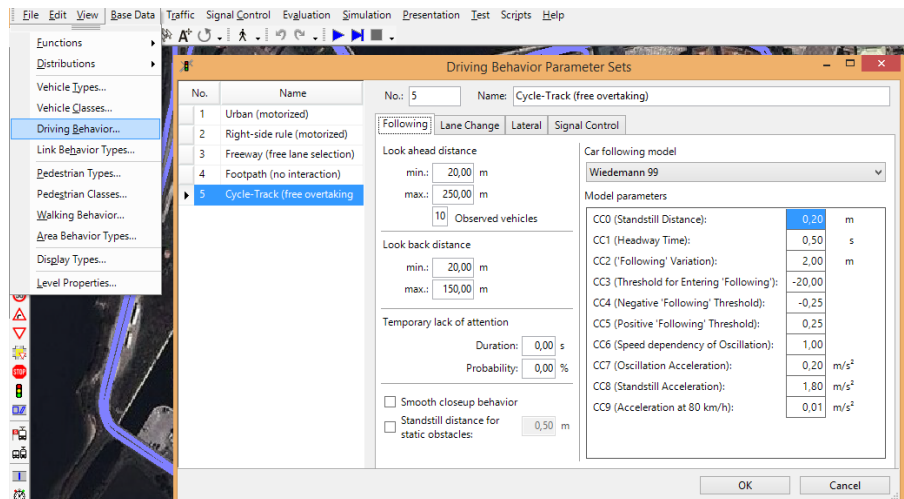
Primeiramente, no separador "Following" (figura 3.15(a)) é necessário alterar os valores mínimos de "Look ahead distance" e de "Look back distance" de 0 para 20,00m. Estes parâmetros têm influência direta no intervalo mínimo e máximo da distância frontal e traseira em que o ciclista é capaz de observar e reagir.

Na opção "Car following model" foi selecionado o modelo Wiedemann 99, uma vez que é o que permite uma representação mais detalhada do comportamento, tendo um maior número de campos de preenchimento.

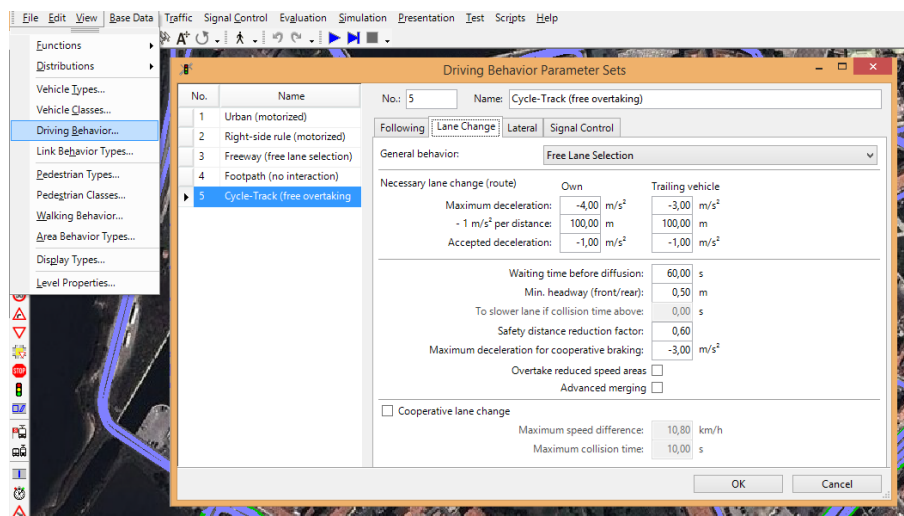
O separador seguinte, "Lane Change" (figura 3.15(b)) não sofreu quaisquer alterações

aos seus parâmetros pré-definidos pelo modelo, isto porque na presente modelação e caso de estudo, as ciclovias representadas são constituídas apenas por uma via por sentido. Somente se cada ciclovia possuísse mais de uma via por sentido, os parâmetros deste separador teriam de ser ajustados devidamente.

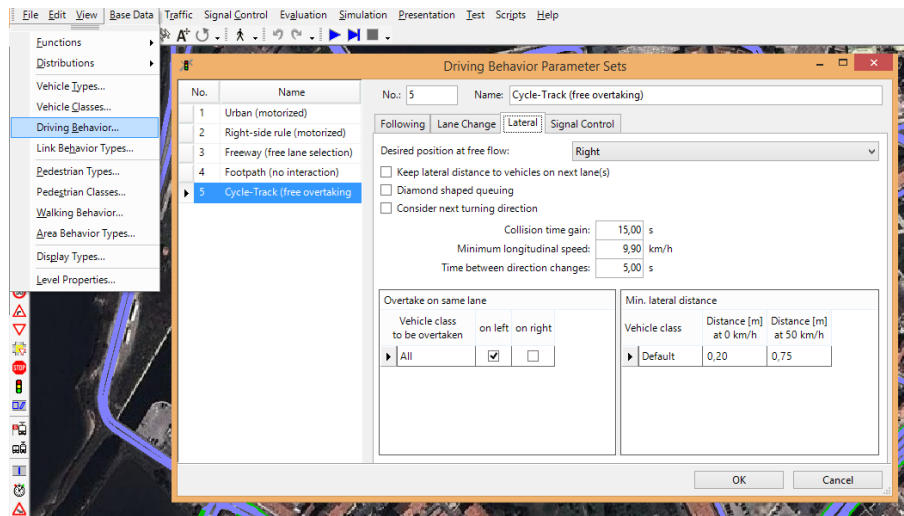
Prosseguindo com a configuração, o separador "*Lateral*" (figura 3.15(c)), permite controlar a posição da bicicleta na via. A opção "*Desired position at free flow*" é definida para "*Right*", uma vez que o ciclista tipicamente se mantém à direita da via depois de alcançar a sua velocidade desejada. Em "*Overtake on same lane*" é seleccionada a esquerda ("*left*"), o que significa que a ultrapassagem apenas se dará pela esquerda. Os parâmetros "*Collision time gain*", "*Minimum longitudinal speed*", "*Time between direction changes*" e a secção "*Min. lateral distance*" estão todos relacionados com a capacidade de movimento e ação, por parte de uma bicicleta em relação à outra e ao espaço disponível na ciclovia.



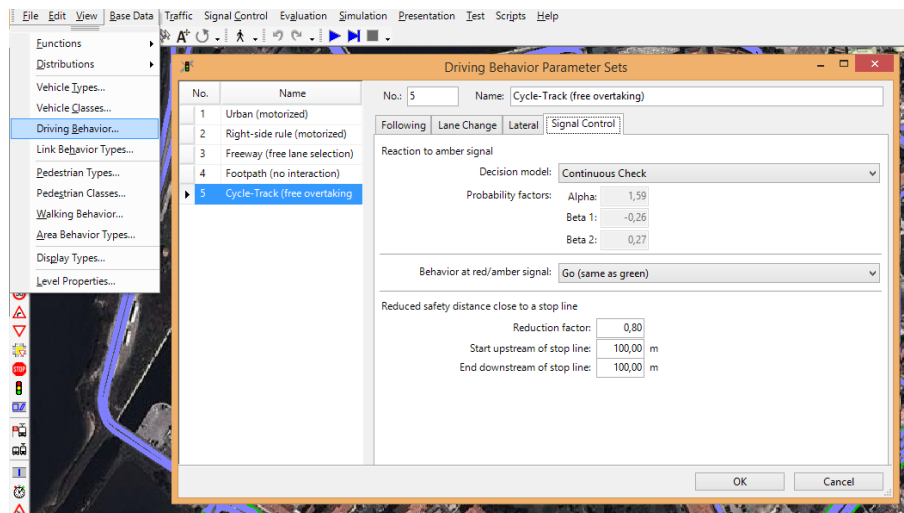
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.15: Definição do comportamento do ciclista na ciclovía: (a) "Following"; (b) "Lane Change"; (c) "Lateral"; (d) "Signal Control"

Por fim, os parâmetros do separador "Signal Control" (figura 3.15(d)) sofreram apenas alteração na secção "Reduction safety distance close to a stop line", onde o "Reduction factor" foi alterado para 0,80. Foi definido este valor tendo em conta que a gama de velocidades das bicicletas, face à dos veículos motorizados, é inferior e por isso a distância de segurança definida poderá ser menor.

A ferramenta seguinte, seleccionada na figura 3.16, tem a finalidade de permitir representar passeadeiras e marcações de sinais na via. Na modelação, para além da questão estética, esta ferramenta é importante quando o processo de criação das vias ainda está em curso, ajudando posteriormente quando a definição dos trajetos é definida e regras de segurança rodoviária são impostas (por exemplo: cedências de passagem em viragens ou interseções).



Figura 3.16: Marcação de sinalética e passadeiras no pavimento

Na figura 3.17 é demonstrado o método de associar, neste caso a uma curva, uma área de velocidade reduzida, onde o ciclista irá desacelerar de forma a não comprometer a sua segurança ou a de outros utentes da via. O uso desta ferramenta é adequado em maior parte dos casos onde é necessário que ocorra uma redução de velocidade, isto porque o comportamento do veículo em questão é mais natural, ou seja, dependendo da área em que se encontra irá desacelerar e voltar a acelerar consoante um perfil previamente definido para tal [30]. O perfil "Velocidade Bicicleta Curvas" é agora associado neste campo, a todas as zonas de velocidade reduzida definidas, ao longo dos três trajetos.

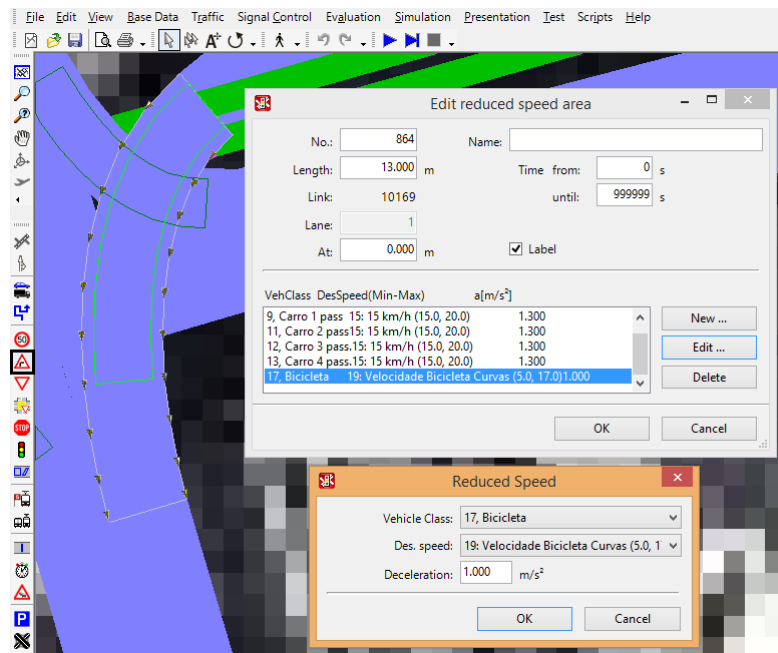


Figura 3.17: Definição das zonas de velocidade reduzida

Concluída a criação do veículo "Bicicleta" e de todos os parâmetros necessários à sua completa definição e caracterização, será agora necessário assumir algumas considerações na rede, em geral, para que todos os veículos transitem em conjunto e cumpram as regras de segurança rodoviária implementadas no modelo.

A definição das zonas de conflito (figura 3.18) é crucial se o objetivo é aproximar da realidade o máximo possível, a modelação e posterior simulação. Compreendem-se

por zonas de conflito aquelas onde existem cedências de passagem, entradas e saídas de rotundas, interseções e cruzamentos (em resumo, zonas onde poderá existir contacto direto entre dois ou mais veículos, sendo eles motorizados ou não). Regra geral, esta opção é a mais aconselhada a nível de modelação, tendo em conta a sua facilidade de implementação e por outro lado é também a que permite uma maior aproximação à realidade da condução e decisão, por parte do utilizador viário, uma vez que os veículos que se aproximam de uma zona definida como de conflito, conseguem prever, através do software, se têm ou não tempo para prosseguir sem provocar um conflito com o outro veículo [30]. No caso específico de conflitos entre veículos motorizados e bicicletas, a definição correta das áreas de conflito e da implementação de semáforos em algumas ciclovias (processo representado na figura 3.19) é fundamental principalmente para evitar erros na simulação (para que a sinalética, por meio de cedências de passagem e semáforos, esteja bem implementada e que os veículos motorizados não possam circular na ciclovia, sendo esta restrita apenas a bicicletas).

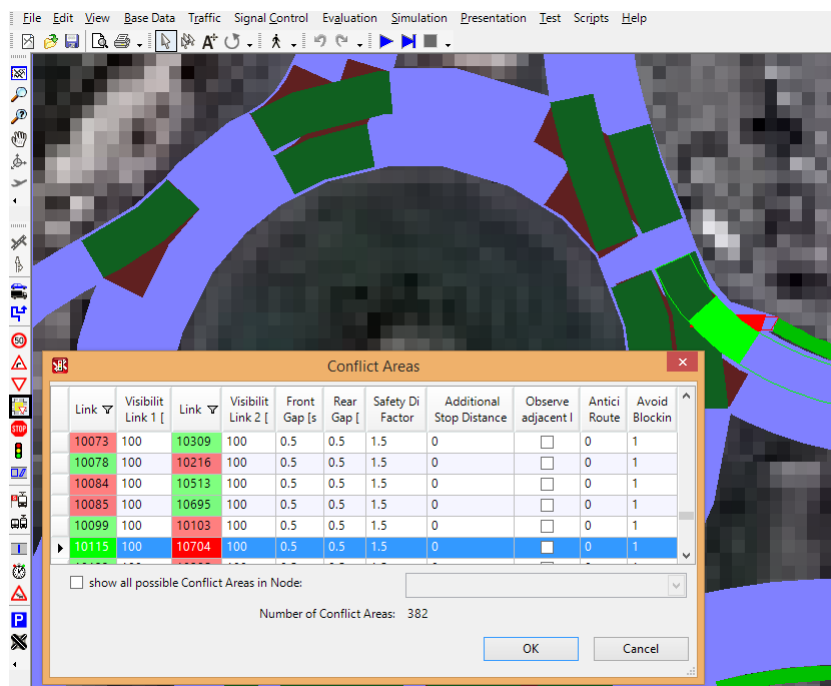


Figura 3.18: Definição das zonas de conflito

Como referido acima, a implementação de semáforos em algumas ciclovias foi de enorme importância, sobretudo em cruzamentos onde já existem semáforos na via principal. De modo a controlar e gerir o tráfego da melhor forma possível, os semáforos criados nas ciclovias têm exatamente as mesmas características e temporizações (correspondentes à realidade). Os semáforos implementados na via principal e na ciclovia, representados pelas linhas a vermelho (figura 3.19), terão o mesmo "SC" (*Signal Control*) e o mesmo "Signal Group", entre si, como é possível visualizar na janela com o título "Signal Head", uma vez que possuem o mesmo sentido de tráfego e regras rodoviárias. A mesma lógica foi adotada para os restantes semáforos que foram necessários implementar.

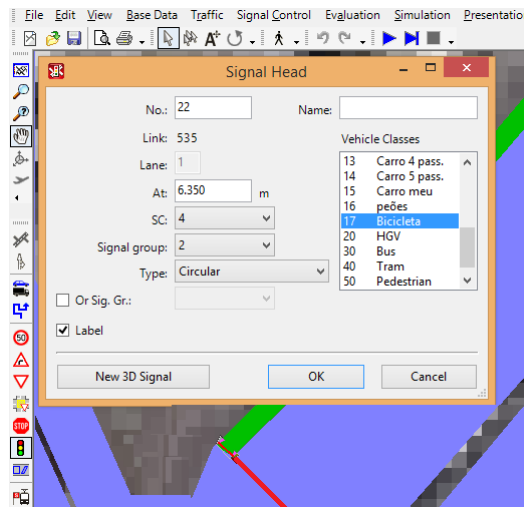


Figura 3.19: Implementação de semáforos na ciclovia

Uma das ferramentas mais importantes a utilizar foi a *"Routes"*, que permite definir e implementar os trajetos por onde um determinado veículo seguirá. Neste caso, os trajetos implementados no modelo são os já apresentados anteriormente, na figura 3.36. Para tal, define-se um ponto inicial e posteriormente um ponto final, sendo possível traçar os caminhos via-a-via pelos quais o ciclista irá seguir (representação a amarelo na figura 3.20). Depois de definidos, são assumidas diferentes percentagens para cada trajeto. Na janela *"Routes"* da figura 3.20, são visíveis três percentagens, meramente exemplificativas, uma vez que o modelo terá de ser validado e calibrado posteriormente, consoante o número total de bicicletas introduzidas na rede (que irá ser dividido pelos diferentes trajetos e locais de passagem, consoante a contagem de bicicletas que foi realizada).

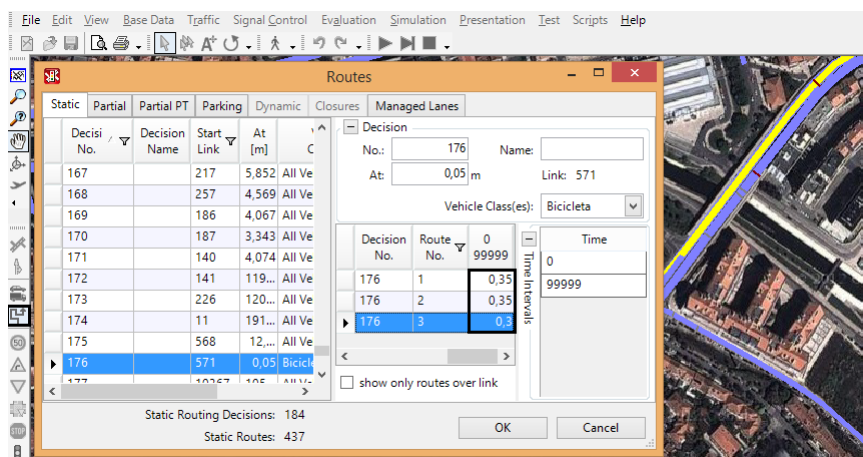


Figura 3.20: Definição dos trajetos A, B e C em VISSIM

Por último, procedeu-se à introdução do número de bicicletas na rede através da ferramenta *"Vehicle Inputs"*. Na figura 3.21 é demonstrado esta introdução no ponto inicial dos trajetos (Estação Ferroviária de Aveiro). O número de bicicletas apresentado é meramente exemplificativo, uma vez que foi necessário, nesta etapa de modelação, proceder

à calibração do modelo e por isso existirão vários dados de entrada de bicicletas ao longo dos trajetos. O objetivo final do processo de calibração é que o número total de bicicletas a circular nos trajetos definidos, seja compatível, em número, com as observadas. Este processo irá ser explicado detalhadamente na próxima secção "Calibração".

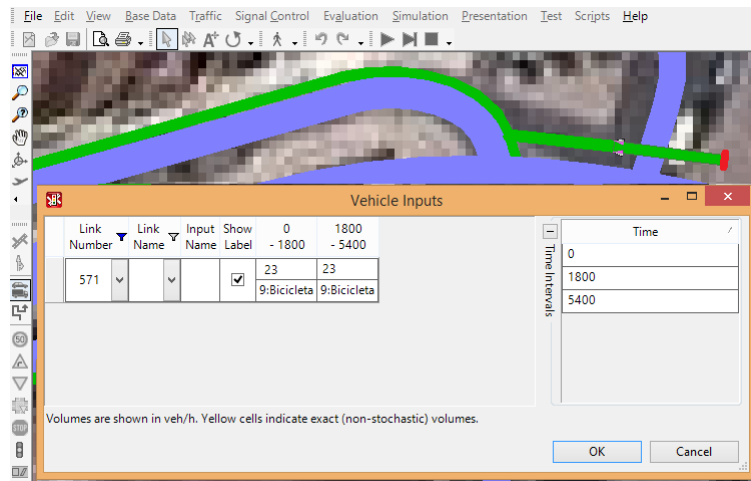


Figura 3.21: Introdução do número de bicicletas na rede

3.3.2 Calibração

A calibração é um passo essencial e obrigatório para obter resultados válidos e o mais realísticos possível, entre os valores estimados pelo modelo e os obtidos através do trabalho de campo realizado [44].

Os modelos de micro-simulação de tráfego não seguem uma linha guia universal e obrigatória, no que toca aos métodos de calibração. No entanto, é fundamental que a mesma seja realizada com sucesso a fim de apresentar valores aceitáveis dos critérios definidos para aceitação do processo de calibração. Só depois, o modelo está preparado para a realização das simulações finais, de onde irão provir, neste caso concreto, os ficheiros com a extensão **.trj* com as trajetórias de todos os veículos incluídos na rede, e que serão depois utilizados como dados de entrada ao modelo de identificação de conflitos e cálculo de medidas representativas de segurança rodoviária (*SSAM*).

Para calibração do presente caso, foram comparados os valores extraídos através da realização de 15 simulações (em *VISSIM*) e os obtidos aquando da contagem do número de bicicletas nos pontos de observação pré-definidos. Posteriormente, verificou-se a coerência dos mesmos e a existência, ou não, de discrepâncias entre eles. Segundo Hale [45], o número ideal de simulações a realizar em modelos de simulação de tráfego são entre 10 e 20.

Sendo a rede viária em estudo bastante extensa, foi utilizada a ferramenta "*Nodes*" (figura 3.22) para a criação, no modelo, dos 6 pontos a analisar (figura 3.23). Foi então criado um nó (zona de análise e extração de dados), para cada um desses pontos, e de onde irão surgir os resultados provenientes das 15 simulações realizadas.

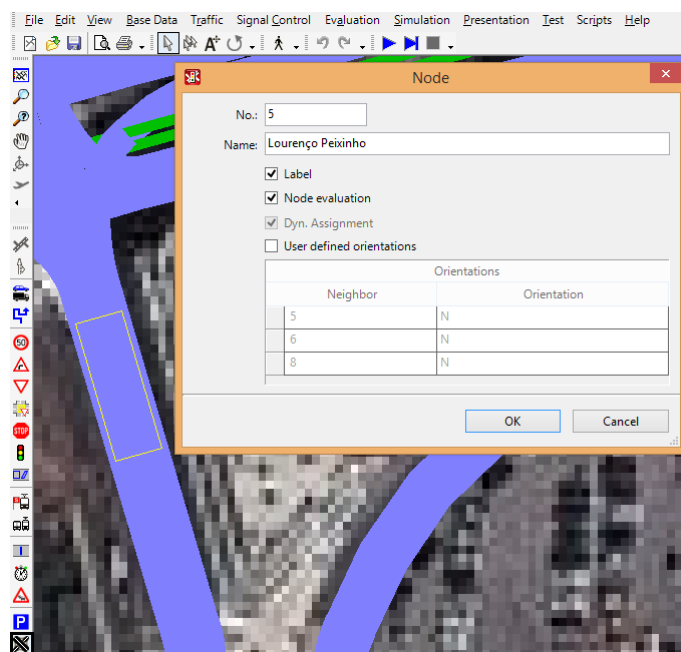


Figura 3.22: Representação de um nó na rede

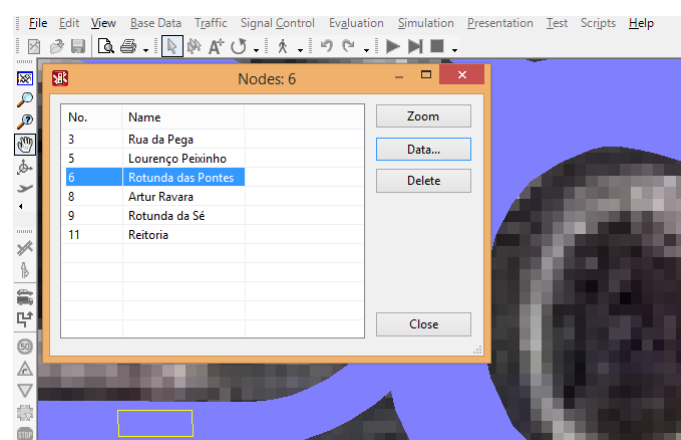


Figura 3.23: Locais de criação dos nós

O processo de simulação implica algumas considerações e passos prévios à realização da mesma. Para isso, no separador "*Evaluation*" (figura 3.24) clicando na opção "*Files*", teremos acesso à janela "*Evaluations (File)*". Para o caso da calibração são selecionadas apenas as opções "*Nodes*" e "*Analyzer Database*".

Na opção "*Nodes*" → "*Configuration*" são selecionados os dados de interesse para registo na base de dados durante a simulação. No caso específico foram escolhidos os nós criados e o número de veículos (bicicletas) que intersejam esses nós. Já na opção "*Nodes*" → "*Filter*", como o nome indica, foram filtrados apenas os nós de interesse à simulação (correspondentes aos 6 pontos de observação e contagem de bicicletas).

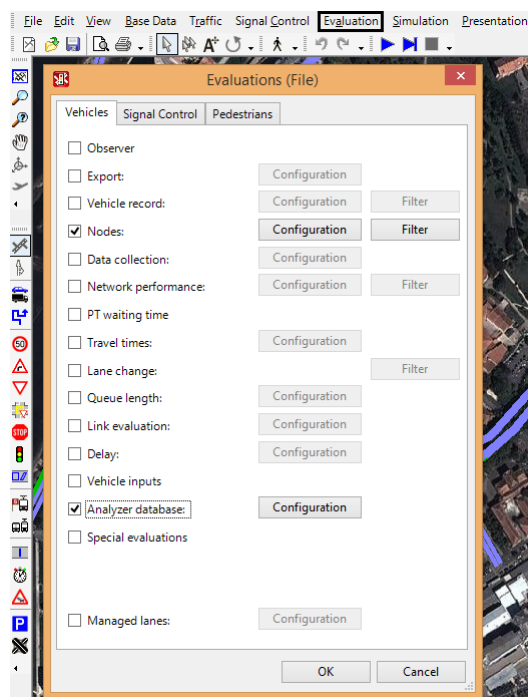


Figura 3.24: Seleção dos campos para registo na base de dados

Ainda no separador "*Evaluation*" seleccionando a opção "*Database*", foi possível criar a base de dados (ficheiro onde serão registados os resultados provenientes de cada uma das simulações) e realizar a ligação entre o *VISSIM* e a mesma (figura 3.25).

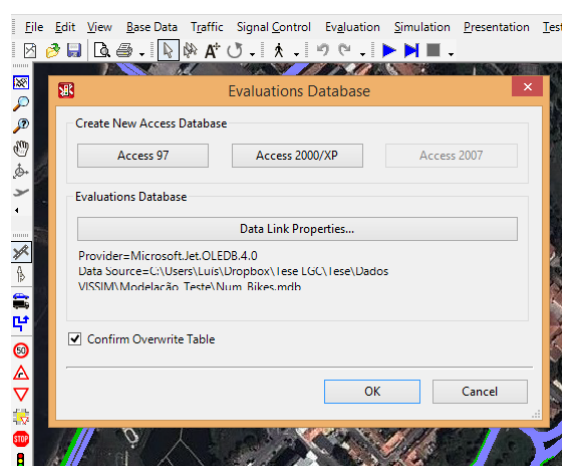


Figura 3.25: Criação e ligação da base de dados com o *VISSIM*

Cada simulação foi realizada para um período de 3600 segundos (1 hora) (figura 3.26). Com o intuito de obter resultados válidos, e sendo a rede modelada bastante extensa, é aconselhável reservar um período de simulação para realização do "aquecimento" da rede. Para tal, foi definido o período de 1800 a 5400 segundos para registo na base de dados

dos resultados provenientes das simulações (os primeiros 1800 segundos foram destinados à estabilização da rede).

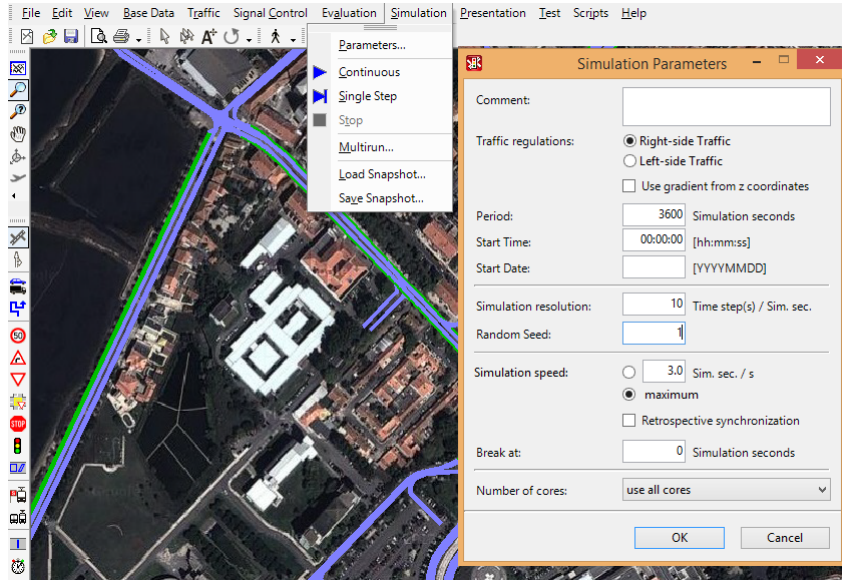


Figura 3.26: Definição dos parâmetros para a simulação

Finalizadas as 15 simulações e extraídos os valores da base de dados previamente criada, procedeu-se ao tratamento dos mesmos com a finalidade de confirmar se o modelo já se encontrava calibrado e validado com sucesso. Foi então criado um ficheiro Excel onde foi inserido e aplicado o erro quadrático médio (*RMSE* - *Root Mean Squared Error*) e o índice de *Geoffrey E. Havers* (*GEH*).

O *RMSE* permite realizar a comparação entre os valores observados e os estimados pelo modelo de micro-simulação (através da medição da magnitude das diferenças do desvio padrão da amostra entre os valores estimados e os observados) [46], e por sua vez, o *GEH*, através da equação 3.1, permite avaliar a veracidade dos dados em análise segundo os seguintes critérios [47]:

- $GEH < 5$: o fluxo de tráfego é considerado bom;
- $5 < GEH < 10$: o fluxo de tráfego necessita de ajuste;
- $GEH > 10$: o fluxo de tráfego não pode ser considerado.

$$GEH = \sqrt{\frac{2(m - c)^2}{m + c}} \quad (3.1)$$

Onde:

- *GEH*: índice de Geoffrey E. Havers;
- *m*: volume de tráfego simulado;
- *c*: volume de tráfego observado.

Depois da análise dos dados e da utilização dos dois métodos supracitados, apresenta-se na tabela A.1 (em Anexo), os resultados obtidos dos valores de GEH , nos 6 pontos analisados, onde se verifica que são inferiores a 5 valores o que se traduz numa calibração aceitável. Os resultados do $RMSE$ apresentaram sempre valores inferiores à unidade.

Por fim, foram realizadas as simulações finais de onde são extraídos os ficheiros com as trajetórias de todos os veículos presentes na rede (ficheiros **.trj*) e os valores do atraso médio por veículo ("*Delay*") sofrido pelos mesmos. Os passos para a realização das simulações finais são semelhantes aos citados anteriormente, sendo que as únicas alterações efetuadas serão na janela "*Evaluations (File)*", onde os campos a selecionar serão o "*Export*" → "*SSAM Trajectory*" e o "*Network Performance*" → "*Filter*" (figura 3.27).

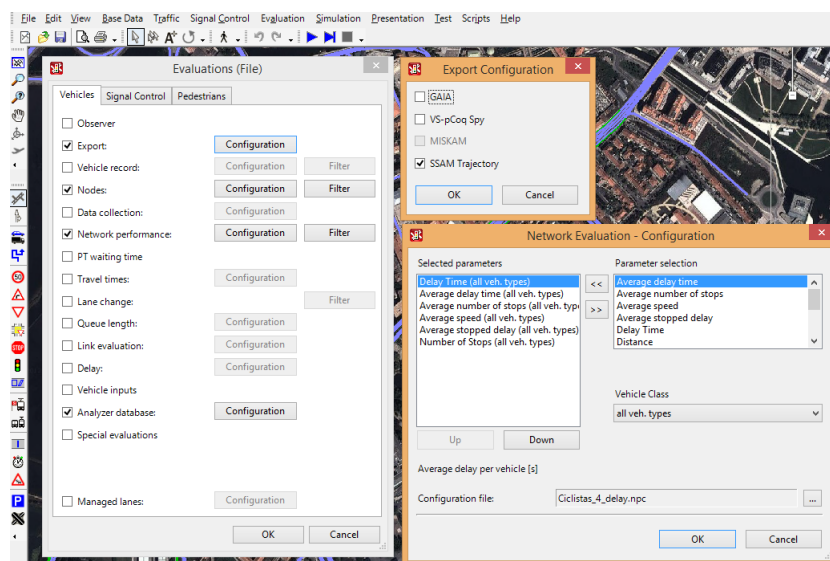


Figura 3.27: Seleção das opções para extração dos ficheiros **.trj* e valores do Atraso por veículo ("*Delay*")

3.4 Modelo SSAM

O modelo *SSAM - Surrogate Safety Assessment Model*, desenvolvido pela *Federal Highway Administration (FHWA)* [31], permite identificar conflitos rodoviários entre veículos através do cálculo de indicadores referentes à segurança rodoviária, extraídos dos ficheiros com as trajetórias dos veículos provenientes de um software de modelação de tráfego (*VISSIM*, *AIMSUN*, *PARAMICS* ou *TEXAS*) [48].

Este modelo visa automatizar o processo de identificação de conflitos, entre bicicletas e veículos motorizados, e a definição de medidas representativas da segurança rodoviária. Os principais fatores que levaram à escolha deste modelo foram: a compatibilidade com os vários modelos de tráfego; a análise da segurança rodoviária num ambiente teste controlado; a análise de acidentes antes da sua ocorrência; a alternativa a modelos de previsão de acidentes inerentes às dificuldades de disponibilidade de dados; a alternativa às técnicas de análise de conflitos tradicionais; aos custos de aplicação mais reduzidos [48].

No entanto, existem algumas limitações inerentes a este e que se prendem sobretudo com a impossibilidade de filtragem de conflitos, e seus parâmetros da segurança rodoviária, automaticamente por trajeto (neste caso) e por tipos de veículo (envolvidos no conflito a analisar). Ou seja, no caso de estudo em que o objetivo era analisar os conflitos detetados ao longo dos trajetos pré-definidos (A, B e C), a solução foi selecionar manualmente (link a link) todas as vias/troços que constituem cada um dos trajetos. Só depois, foi possível analisar cada um deles individualmente.

O modelo *VISSIM* e o *SSAM*, através dos seus dados de entrada e saída, respetivamente, permitem realizar de forma sucinta e detalhada a análise da segurança rodoviária num dado cenário ou trajeto. Na figura 3.28 é representado o fluxograma de interação entre os dois modelos.

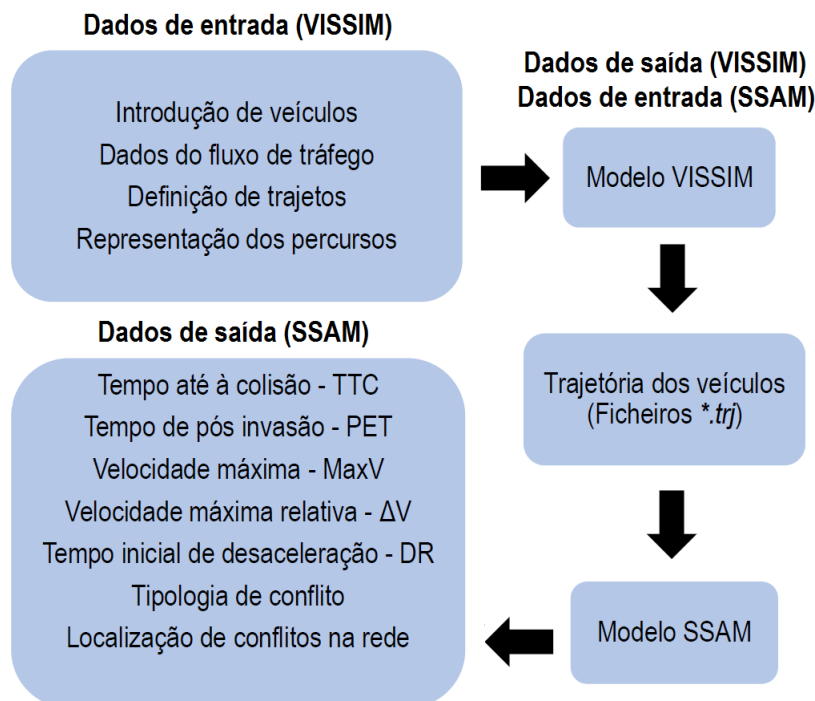


Figura 3.28: Fluxograma da interface entre os modelos *VISSIM* e *SSAM*

3.4.1 Identificação de Conflitos e Análise de Segurança Rodoviária

Na classificação de conflitos entre veículos, a metodologia utilizada pelo software, baseia-se na determinação do ângulo de conflito de um ponto de colisão hipotético, uma vez que um conflito não se define como um acidente mas sim como o acontecimento que ocorre antes do mesmo, para o qual os veículos convergem. O ângulo é definido na perspetiva do primeiro veículo (V1), causador do conflito, fixando assim um ponto zero que servirá para determinar o ângulo de onde surge o segundo veículo (V2) em relação ao primeiro (figura 3.29). Os valores angulares positivos e negativos indicam uma aproximação pela direita e esquerda, respetivamente, definindo assim a direção de cada veículo [48].

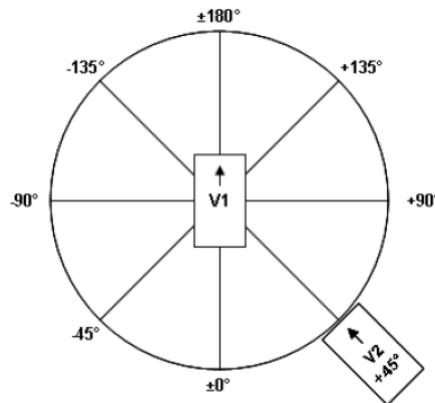


Figura 3.29: Definição dos ângulos de conflito [48]

As informações provenientes da modelação das vias, onde se utiliza a ferramenta *Links & Connectors* no *VISSIM* (figura 3.10), também contêm informações relevantes aquando da classificação de um conflito. No caso de dois veículos terem um conflito sobre o mesmo segmento, este é sempre do tipo de frente-traseira, independentemente do ângulo de conflito entre V1 e V2. Outro caso onde a informação que provem dos segmentos modelados é importante prende-se, por exemplo, quando dois veículos estão na mesma ligação e um destes decide mudar de via; aqui o tipo de conflito nestes casos é o de mudança de via, também independente do tipo de ângulo [48].

Quando não é necessário ou possível consultar a informação proveniente da modelação das vias no modelo de micro-simulação de tráfego, o tipo de evento é classificado unicamente a partir dos ângulos de conflito da seguinte forma [48]:

- Conflitos de atravessamento: ângulos de conflitos $> 80^\circ$;
- Conflitos de frente - traseira: ângulos de conflitos $< 30^\circ$;
- Conflitos de mudança de via: entre 30° e 80° , inclusivé;
- Não classificados: ângulos de conflito desconhecidos.

Para cada interseção o *SSAM* guarda a trajetória dos veículos, proveniente dos ficheiros do modelo de micro-simulação de tráfego, e grava as medidas de segurança, determinando ou não se a interação satisfaz a condição para ser considerada um conflito. A identificação de um conflito é determinada quando a trajetória de dois veículos, isto é, a sua velocidade e posição, indicam uma colisão iminente para um tempo até à colisão (TTC - *time to colision*) e um tempo de pós invasão (PET - *post-encroachment time*) menores que 1,5 e 5,0 segundos, respetivamente. O TTC é definido como o intervalo de tempo que um objeto demoraria a atingir um observador se circulasse à mesma velocidade que este [49]. O PET é usado para medir as situações em que dois veículos não estão em rota de colisão evidente e que passam num determinado ponto, com uma diferença temporal que está abaixo de um valor máximo de 5 segundos [49]. A diferença entre PET e TTC prende-se com a ausência do critério de colisão, para além de que o primeiro indicador é mais fácil de extrair, pois não necessita de dados de velocidade e distância. Um valor inferior de TTC e PET indica uma maior probabilidade na ocorrência de colisões e também uma gravidade de conflito maior. Por sua vez, os restantes

parâmetros da segurança rodoviária ($MaxV$, ΔV e DR) definem a gravidade das colisões potenciais. Quanto mais elevado for o seu valor, em absoluto, mais grave serão as hipotéticas colisões. O *SSAM* é versátil em termos de análise de conflitos em qualquer tipo de via, mas como qualquer outro software possui limitações, uma vez que no caso específico, foi desenvolvido para avaliar conflitos em cruzamentos e rotundas [48].

Na figura 3.30 são identificadas e explicadas as medidas representativas de segurança mais importantes, calculadas pelo *SSAM* para os conflitos em estudo. O valor de TTC resulta da diferença entre o tempo de chegada projetada ao ponto de conflito, por parte do veículo B e o abandono da área de invasão por parte do veículo A ($t_4 - t_3$). O PET é a diferença de tempo entre a chegada ao ponto de conflito e o abandono do local de invasão ($t_5 - t_3$). O parâmetro $MaxV$ define-se como a velocidade máxima dos veículos envolvidos entre os tempos t_1 e t_5 e ΔV representa a maior diferença de velocidades verificada para cada intervalo de tempo. Por fim, DR corresponde à segunda derivada da curva apresentada na figura do veículo B, para o tempo t_2 [48].

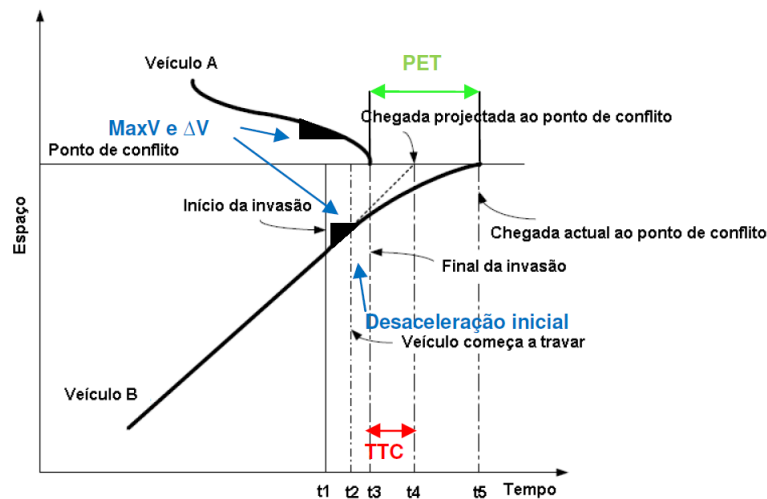


Figura 3.30: Representação e identificação das medidas representativas de segurança [35, adaptado][48]

Os modelos de avaliação da segurança rodoviária, apesar de identificarem com sucesso quase todos os conflitos e os dividirem por tipo de conflito, ainda não são capazes de filtrar com facilidade quais os tipos de veículo envolvidos num determinado conflito. É perceptível qual dos dois cria o conflito, em que "*Link*" ocorreu, mas identificar os veículos específicos um a um torna-se difícil e bastante trabalhoso, sendo um processo a realizar manualmente, principalmente quando são exportados de uma única vez todos os conflitos existentes na rede (único meio possível de concretização).

Como foi referido anteriormente, o modelo *SSAM* utiliza os dados de trajetória de todos os veículos presentes na rede viária modelada no *VISSIM* (ficheiros **.trj*). Foram analisadas 15 simulações provenientes de cada um dos cenários em estudo, o cenário base e quatro cenários alternativos (especificados na próxima secção), o que perfaz um total de 75 simulações a serem analisadas no *SSAM*.

O primeiro passo será a criação de um novo perfil no menu *Configuration* (figura 3.31), para cada um dos cenários em estudo, onde serão inseridos os 15 ficheiros com a extensão

*.trj provenientes das simulações realizadas no *VISSIM*, na secção *Case Files*. Em cima, (*Case Information*), permite inserir comentários relacionados com a análise em curso e identificar o autor/analista. Na última secção da presente janela *Conflict Thresholds*, são definidos valores limite para as variáveis TTC e PET e são definidos os ângulos que permitem a distinção dos três tipos de conflito existentes. Todos os valores utilizados são os pré-definidos pelo software. No entanto, devido à importância do parâmetro TTC, foi realizada pesquisa bibliográfica no sentido de apurar qual seria o valor mais correto a usar, neste parâmetro, para a identificação de conflitos entre bicicletas e veículos motorizados. Segundo o estudo de Horst et. al. [50], o valor mais aconselhável é 1,5 segundos (valor pré-definido pelo modelo). Por fim, é iniciado o processo pressionando o botão *Analyze*, onde todas as interseções veículo a veículo são analisadas, ao mesmo tempo.

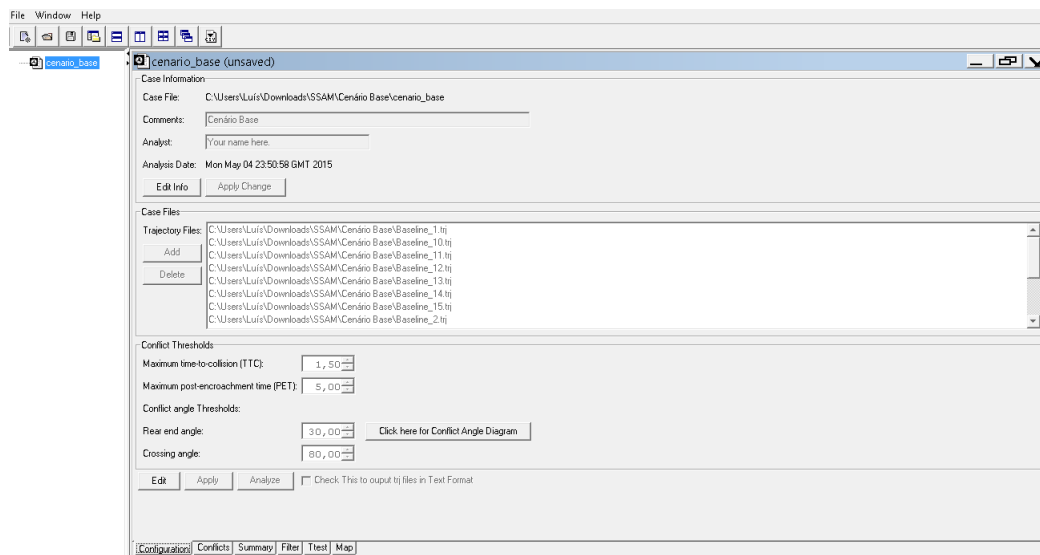


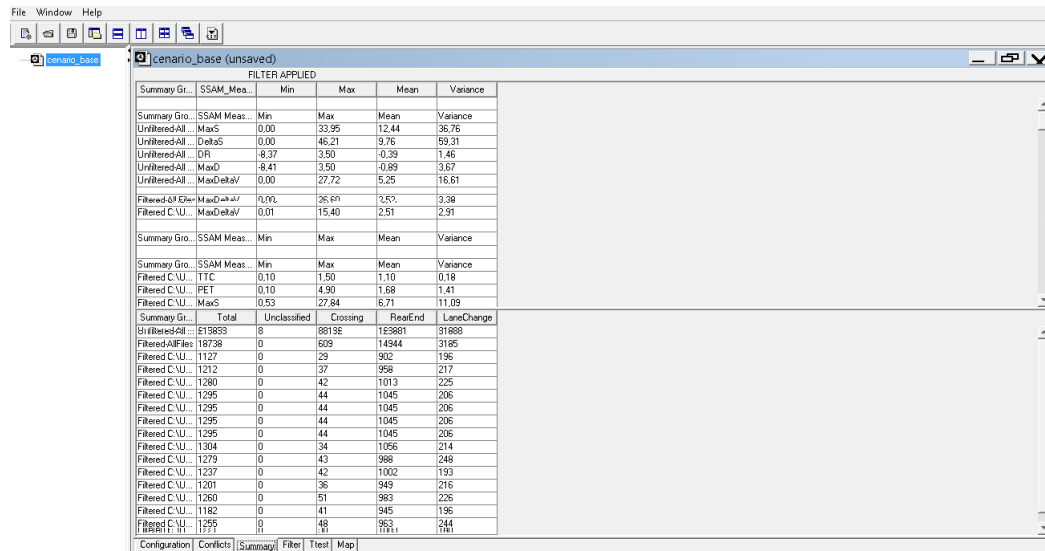
Figura 3.31: Menu *Configuration* para criação e definição do cenário em estudo

Quando o processo é finalizado (depois de processados os 15 ficheiros com as trajetórias), no menu seguinte (*Conflicts*) são listados todos os conflitos identificados (figura 3.32).

trjFile	tMinTTC	xMinPET	yMinPET	TTC	PET	MaxS	DeltaS	DR	MaxD	MaxDeltaV	ConflictAngle	ClockAngle	ConflictType	PostCrashV
Baseline_1.trj	82.10	364.77	1.177.52	1.30	1.70	6.37	6.37	-2.59	-2.59	3.26	5.04	5.50	rear end	3.11
Baseline_1.trj	183.30	755.51	1.557.40	1.50	0.40	6.92	0.57	0.27	0.27	0.29	3.35	5.53	rear end	6.70
Baseline_1.trj	234.10	894.17	1.637.45	1.30	0.40	9.87	6.94	-0.30	-0.30	3.53	0.00	5.59	rear end	6.45
Baseline_1.trj	242.20	739.74	316.61	1.30	1.80	6.74	6.74	-2.93	-3.29	3.96	1.42	6.03	rear end	3.18
Baseline_1.trj	240.10	798.74	1.109.27	1.30	0.40	4.00	1.13	-0.90	-1.74	0.56	-7.83	6.16	rear end	3.48
Baseline_1.trj	241.00	798.66	1.109.19	1.20	0.60	3.79	1.35	-0.71	-3.05	0.67	-6.86	6.14	rear end	3.14
Baseline_1.trj	242.00	1.652.29	295.42	0.40	0.10	7.06	3.87	-0.47	-6.86	2.00	32.48	4.55	lane change	6.62
Baseline_1.trj	249.30	315.64	1.199.61	1.40	1.90	5.85	5.85	-2.56	-2.79	2.97	6.89	5.46	rear end	2.97
Baseline_1.trj	249.70	614.04	893.31	1.30	1.00	10.75	8.52	0.10	0.10	4.38	6.33	5.47	rear end	6.35
Baseline_1.trj	254.70	607.58	869.80	1.50	2.00	2.95	2.95	-1.51	-1.51	1.53	27.87	5.04	rear end	1.53
Baseline_1.trj	258.10	619.65	920.39	0.60	0.20	3.82	3.82	-0.40	-0.40	3.39	25.10	5.10	rear end	0.43
Baseline_1.trj	276.60	842.04	1.000.04	1.20	2.50	6.42	6.42	-2.75	-2.75	3.26	0.00	5.59	rear end	3.16
Baseline_1.trj	344.20	633.83	925.36	1.50	3.00	4.01	4.01	-2.51	-2.51	2.12	5.53	5.49	rear end	1.89
Baseline_1.trj	342.70	797.10	1.107.54	1.50	0.40	3.86	0.89	-1.50	-1.50	0.45	-11.50	6.23	rear end	3.57
Baseline_1.trj	360.90	1.179.97	613.47	1.40	2.30	6.02	6.02	-2.78	-2.78	3.01	0.01	5.59	rear end	3.01

Figura 3.32: Menu *Conflicts* com a listagem de todos os conflitos

No menu *Summary* (figura 3.33), é apresentado um quadro resumo com a totalidade dos conflitos identificados, o tipo de conflito, medidas representativas de segurança rodoviária e outros parâmetros calculados pelo modelo.

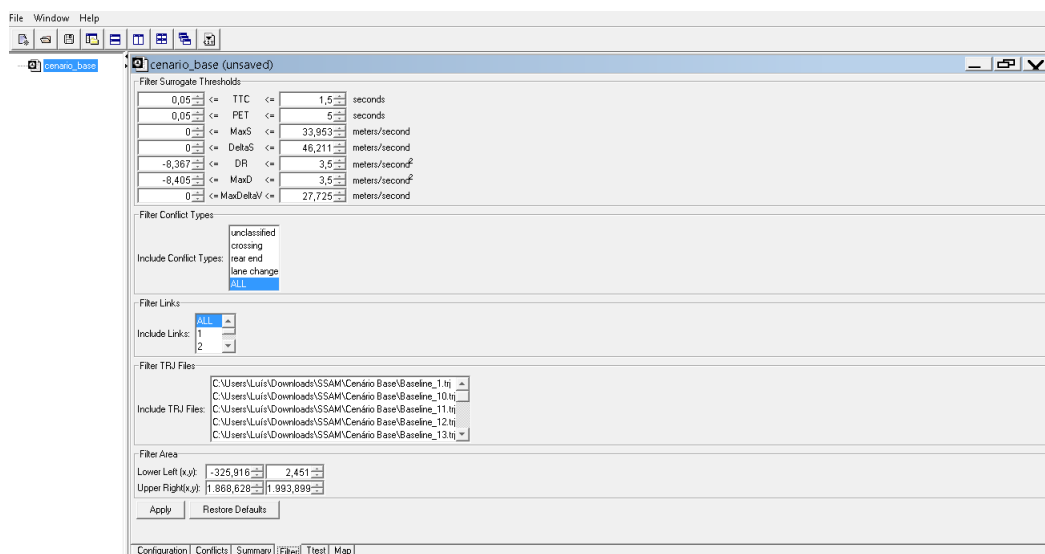


The screenshot shows the 'Summary' menu of the SSAM software. It displays a table with columns: Summary Gr., SSAM Meas., Min, Max, Mean, and Variance. The table is divided into several sections, including 'Unfiltered All', 'Filtered C.U.', and 'Filtered C.V.'. The bottom section shows a detailed breakdown of conflict types: Total, Unclassified, Crossing, RearEnd, and LaneChange.

Summary Gr.	SSAM Meas.	Min	Max	Mean	Variance
Unfiltered All	MaxS	0.00	33.95	12.44	36.76
Unfiltered All	DeltaS	0.00	46.21	9.76	59.31
Unfiltered All	DR	-8.37	3.50	-0.39	1.46
Unfiltered All	MaxD	-8.41	3.50	-0.89	3.67
Unfiltered All	MaxDeltaV	0.00	27.72	5.25	16.61
Filtered C.U.	MaxD	0.00	36.60	2.63	3.38
Filtered C.U.	MaxS	0.01	15.40	2.51	2.91
Filtered C.V.	TTC	0.10	1.50	1.10	0.18
Filtered C.V.	PET	0.10	4.90	1.68	1.41
Filtered C.V.	MaxS	0.53	27.84	6.71	11.09
Summary Gr.	Total	Unclassified	Crossing	RearEnd	LaneChange
Unfiltered All	81883	8	88132	163881	31888
Filtered All Files	18738	0	609	14944	3185
Filtered C.U.	1127	0	29	902	196
Filtered C.U.	1212	0	37	958	217
Filtered C.U.	1280	0	42	1013	225
Filtered C.U.	1295	0	44	1045	206
Filtered C.U.	1295	0	44	1045	206
Filtered C.U.	1295	0	44	1045	206
Filtered C.U.	1304	0	34	1056	214
Filtered C.U.	1279	0	43	988	248
Filtered C.U.	1237	0	42	1002	193
Filtered C.U.	1201	0	36	949	216
Filtered C.U.	1260	0	51	963	226
Filtered C.U.	1162	0	41	945	196
Filtered C.U.	1255	0	48	963	244
Filtered C.U.	1777	0	41	1011	191

Figura 3.33: Menu *Summary* com o resumo do número e tipo de conflitos

Umas das limitações do *SSAM* em particular, é a incapacidade de seleção automática de conflitos por trajeto e tipo de veículo. No entanto, o menu *Filter* (figura 3.34) e o menu *Map* (figura 3.35), permitem filtrar manualmente os conflitos de interesse, por zonas e por intervalos nas medidas representativas de segurança pré-definidas.



The screenshot shows the 'Filter' menu of the SSAM software. It contains several sections for configuring filters: 'Filter Surrogate Thresholds', 'Filter Conflict Types', 'Filter Links', 'Filter TRJ Files', and 'Filter Area'. Each section has input fields for values and units.

Filter Surrogate Thresholds	Filter Conflict Types	Filter Links	Filter TRJ Files	Filter Area
0.05 <= TTC <= 1.5 seconds	Unclassified	ALL	C:\Users\Luís\Downloads\SSAM\Cenario Base\Baseline_1.tj	Lower Left (x,y): -325,916 2,451
0.05 <= PET <= 5 seconds	Crossing	1	C:\Users\Luís\Downloads\SSAM\Cenario Base\Baseline_10.tj	Upper Right (x,y): 1,888,828 1,993,899
0 <= MaxS <= 33,953 meters/second	Rear end	2	C:\Users\Luís\Downloads\SSAM\Cenario Base\Baseline_11.tj	
0 <= DeltaS <= 46,211 meters/second	Lane change		C:\Users\Luís\Downloads\SSAM\Cenario Base\Baseline_12.tj	
-8,367 <= DR <= 3,5 meters/second ²	ALL		C:\Users\Luís\Downloads\SSAM\Cenario Base\Baseline_13.tj	
-8,405 <= MaxD <= 3,5 meters/second ²				
0 <= MaxDeltaV <= 27,725 meters/second				

Figura 3.34: Menu *Filter* para filtragem de conflitos

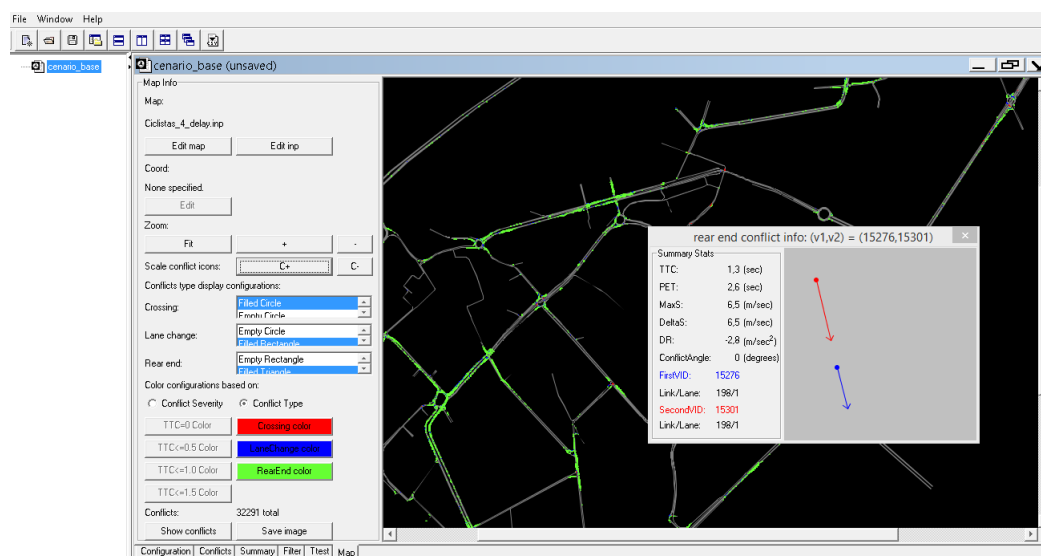


Figura 3.35: Menu *Map* para visualização e filtragem de conflitos

A secção *Filter Surrogate Thresholds* (figura 3.34), permite estabelecer intervalos nas medidas representativas de segurança, o que se torna bastante útil principalmente nos parâmetros TTC e PET, uma vez que o software considera como conflitos algumas imprecisões provenientes da simulação, classificando-os com TTC e PET igual a zero. Através do filtro são assumidos conflitos apenas com estes parâmetros superiores ou iguais a 0,05 segundos. De forma a filtrar os conflitos que apenas ocorreram nas zonas abrangidas pelos trajetos A, B e C, o filtro (*Filter Links*) foi utilizado, seleccionando-se manualmente apenas os "links" correspondentes aos mesmos dos trajetos modelados em VISSIM.

No menu *Map* (figura 3.35), através do ficheiro de modelação do VISSIM, o mapa completo da rede pode ser importado, sendo assim possível visualizar o local onde ocorre cada conflito identificado. Os três tipos de conflitos são distinguíveis no mapa, por meio de círculos, quadrados e triângulos de diferentes cores. Também é disponibilizada uma opção de seleção de um qualquer conflito do mapa e visualização instantânea do mesmo e dos seus parâmetros.

3.5 Estabelecimento de Cenários

Consideraram-se os trajetos definidos no sub-capítulo "Estudo de Caso" em todos os cenários que serão apresentados, tanto no base como nos quatro alternativos.

Assim, primeiramente foi estabelecido um cenário base que traduz a realidade do tráfego diário de veículos em Aveiro (na hora de ponta da manhã 8h-9h). O número de bicicletas inserido no modelo de modelação corresponde às que se verificaram nas observações e contagens efetuadas nos 6 locais escolhidos para tal. Na figura 3.36 verifica-se, num só mapa, a configuração de todos os trajetos em estudo no cenário base.

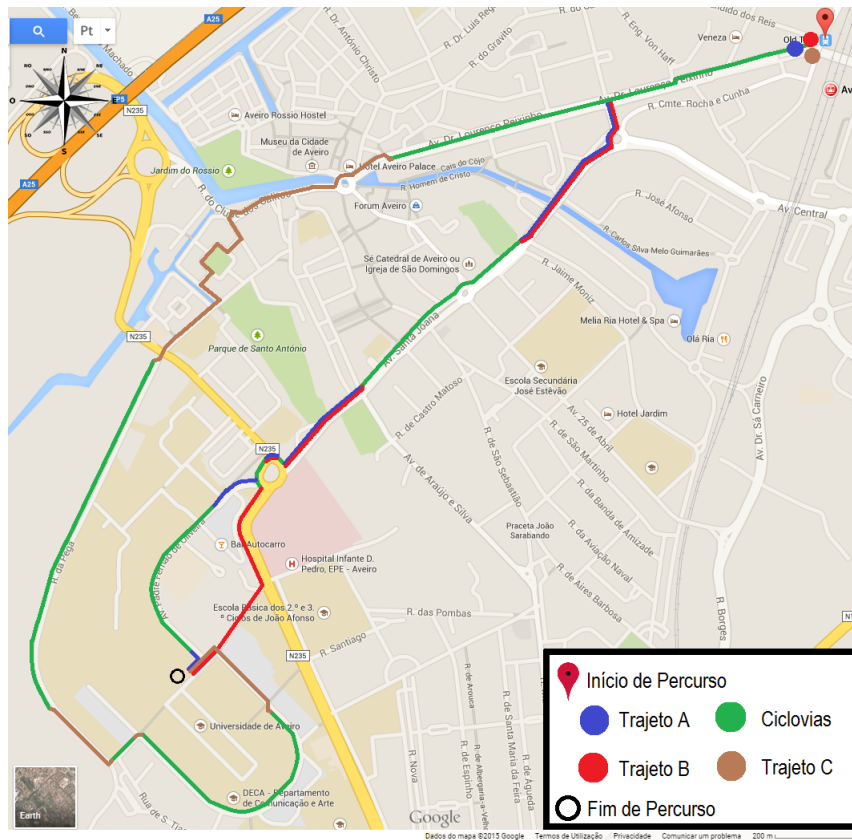


Figura 3.36: Trajetos definidos para o cenário base [33]

Posteriormente, quatro cenários alternativos foram implementados com o objetivo de estudar alternativas e simular alterações ao tráfego, face à situação atual, que melhorem as condições da mobilidade ciclável em Aveiro.

Cenário Alternativo 1 Novas Ciclovias

- Criação e implementação de ciclovias, nos locais onde se verifica a inexistência das mesmas, ao longo dos trajetos definidos no cenário base (figura 3.36), mantendo o mesmo número de bicicletas, correspondentes à hora de ponta da manhã (8h-9h).

Na figura 3.37 mostra-se a criação das novas ciclovias ao longo dos três percursos desde a Estação Ferroviária de Aveiro até à Universidade de Aveiro (Reitoria), comparativamente às existentes e demonstradas na figura 3.36. Neste cenário é expectável a diminuição no número de conflitos, uma vez que o ciclista circula num espaço dedicado a bicicletas, o que se traduz numa potencial melhoria das condições e da segurança rodoviária.

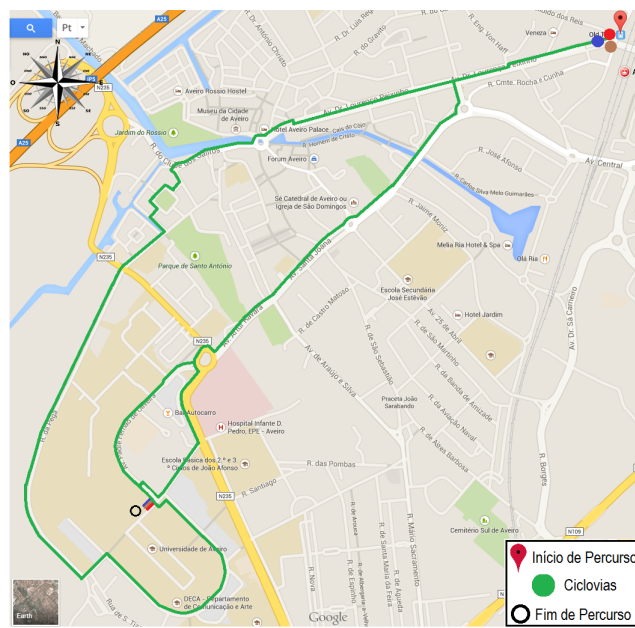


Figura 3.37: Criação de ciclovias ao longo dos trajetos A, B e C [33]

Cenário Alternativo 2 Aumento do número de bicicletas mantendo o número de veículos motorizados

- Partindo do cenário base, aumentou-se o número de bicicletas inseridas na rede em 10 vezes, em relação às que circulam inicialmente no cenário base, ao longo dos trajetos pré-definidos inicialmente (figura 3.36).

Cenário Alternativo 3 Aumento do número de bicicletas e correspondente diminuição do número de veículos motorizados

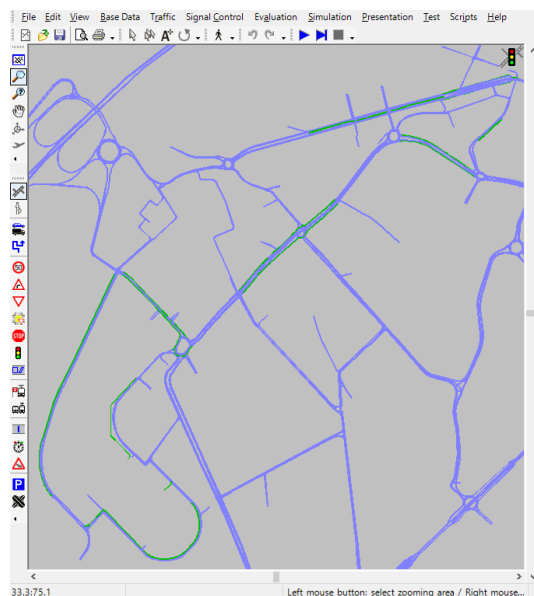
- Partindo do cenário base, aumentou-se o número de bicicletas inseridas na rede em 10 vezes, em relação às que circulam inicialmente no cenário base, e remoção de veículos motorizados, correspondente à transferência modal dos seus ocupantes (taxa de ocupação média de 1,37 pessoas por veículo motorizado)[43] para o modo ciclável.

Pretende-se com este cenário simular a promoção e aumento da mobilidade ciclável em Aveiro, diminuindo assim o número de veículos motorizados a circular. Ou seja, o utilizador dá preferência à circulação diária em bicicleta ao invés de utilizar um veículo motorizado. A redução dos gases com efeito de estufa é também uma vantagem, associada a esta simulação, estando diretamente ligada à diminuição no número de veículos motorizados.

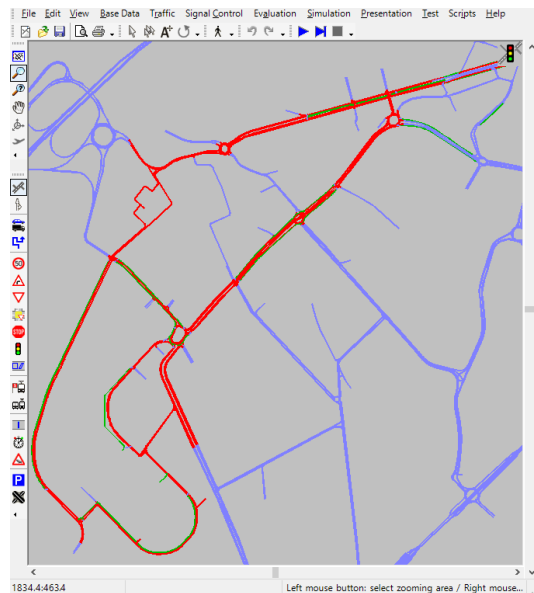
Cenário Alternativo 4 Zonas de Velocidade Reduzida (30 km/h)

- Criação de zonas de velocidade reduzida ao longo dos trajetos A, B e C definidos no cenário base (figura 3.36), mantendo o número de bicicletas do cenário base na rede.

O principal objetivo será a redução no número de conflitos entre todos os veículos inseridos nas áreas com limite 30 km/h, face aos constatados no cenário base onde o limite de velocidade imposto é 50 km/h. Na figura 3.38 apresenta-se o cenário base e a implementação e modelação das vias com redução de velocidade.



(a)



(b)

Figura 3.38: Representação do cenário base (a) e do cenário alternativo 4 (zonas de velocidade reduzida representadas a vermelho) (b)

Capítulo 4

Apresentação e Discussão de Resultados

4.1 Considerações Iniciais

Nesta seção são comparados os três trajetos em estudo (A, B e C) no cenário base, e nos cenários alternativos. É apresentado, por trajeto, o valor médio e tipologia de conflitos, e as médias das medidas representativas da segurança rodoviária (TTC, PET, MaxV, ΔV e DR). Demonstram-se também, dos resultados provenientes do *SSAM*, as zonas críticas onde foram detetados mais conflitos, ao longo dos trajetos, em todos os cenários.

Verificou-se a ocorrência de algumas colisões virtuais, identificadas pelo *SSAM* através do parâmetro $TTC=0$, que são provenientes de imprecisões na modelação, e por isso, de modo a não influenciar os resultados, todos os conflitos com TTC igual a zero segundos foram filtrados e removidos.

De notar que em locais onde se observem mais conflitos entre veículos, em relação a outros, nem sempre significam que a ocorrência de um maior número de colisões se verifique. Uma colisão tem menos probabilidade de ocorrer quando os valores de TTC e PET, do conflito associado, têm o maior valor possível, 1,50 e 5,00 segundos, respetivamente. Por outro lado, um valor mais baixo das restantes medidas da segurança rodoviária (MaxV, ΔV e DR) representam uma menor gravidade nas colisões potenciais. A análise da variável DR é realizada sempre em valor absoluto, isto porque, o sinal negativo associada à mesma apenas indica que os veículos envolvidos no conflito estão a desacelerar. Ou seja, no caso da ocorrência de um conflito que apresente, por exemplo, o valor de $DR = -2 \text{ m.s}^{-2}$ e outro com $DR = -1 \text{ m.s}^{-2}$, indica que o primeiro terá uma maior gravidade nas potenciais colisões. Isto porque, os veículos envolvidos no conflito irão desacelerar mais bruscamente, o que pressupõe maior gravidade de uma hipotética colisão (em valor absoluto $2 \text{ m.s}^{-2} > 1 \text{ m.s}^{-2}$).

4.1.1 Cenário Base

Primeiramente, irão ser comparados os três trajetos em estudo com o objetivo de descobrir qual é o que apresenta os melhores índices das medidas de segurança, para a implantação rodoviária atual.

Na tabela 4.1 são apresentados os valores, correspondentes à média das 15 simulações efetuadas, das medidas representativas de segurança rodoviária por trajeto e tipologia de conflito. Na tabela A.7 (em Anexo) apresenta-se o número total de conflitos por simulação, em cada trajeto.

Tabela 4.1: Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Base

Trajeto	Tipo de Conflito	Média de Conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
A	Atravessamento	7,7	0,5	0,5	12,4	15,0	-0,2
	Frente-traseira	244,1	1,0	1,6	5,9	3,7	-1,4
	Mudança de via	61,1	1,0	1,3	7,1	5,7	-1,3
	Total	312,9	1,0	1,5	6,3	4,4	-1,3
B	Atravessamento	7,7	0,5	0,5	12,4	15,0	-0,2
	Frente-traseira	253,3	1,0	1,6	5,9	3,8	-1,4
	Mudança de via	63,7	1,0	1,3	7,1	5,7	-1,3
	Total	324,7	1,0	1,5	6,3	4,4	-1,3
C	Atravessamento	0,7	1,1	1,5	6,7	5,8	-1,5
	Frente-traseira	75,3	1,0	1,6	6,8	3,7	-1,8
	Mudança de via	15,7	1,0	1,5	6,6	3,9	-1,7
	Total	91,7	1,0	1,5	6,7	4,0	-1,7

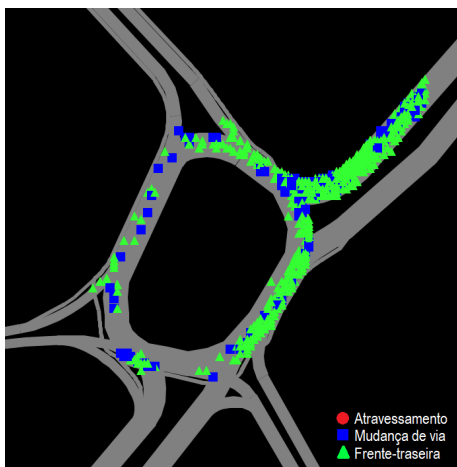
No trajeto A foram observados em média 312,9 conflitos por cada simulação gerada, sendo que 78% deles correspondem a conflitos de frente-traseira. À semelhança de A no trajeto B a maior percentagem de conflitos também correspondeu aos de frente-traseira. Comparando a totalidade dos mesmos, no trajeto B em relação ao A, apenas se verifica uma pequena diferença (de 4%), entre eles, sendo que em B foi registado o maior número total, correspondendo a 324,7 conflitos. A diferença percentual entre ambos explica-se pelo facto de os trajetos apenas diferirem na sua fase final, nomeadamente na saída utilizada na rotunda do Hospital, sendo que na associada ao trajeto B são verificados mais conflitos, uma vez que é um ramo de saída associada a maiores volumes de tráfego (como será possível visualizar na imagens apresentadas mais à frente, nas quais serão demonstradas as zonas dos trajetos onde o maior número de conflitos foi registado). Já o trajeto C foi aquele que apresentou o menor número de conflitos (91,7 no total), devido fundamentalmente ao menor volume de tráfego presente em certas zonas do percurso. Uma vez mais os conflitos de frente-traseira foram os mais frequentes, acontecendo em 82% dos casos observados. Por outro lado, o tipo de conflito menos registado, facto comum nos três trajetos, foi o de atravessamento. Tanto no trajeto A como no B foram verificados, em média, 7,7 conflitos deste tipo e no trajeto C apenas 0,7.

A probabilidade da ocorrência de colisões é mais elevada para conflitos que apresentem menores valores de TTC e PET. Como é possível verificar, no trajeto A e B esses parâmetros (0,5s em ambos), foram menores nos conflitos de atravessamento. No trajeto C a probabilidade de ocorrência de colisões é maior nos conflitos de mudança de via, onde

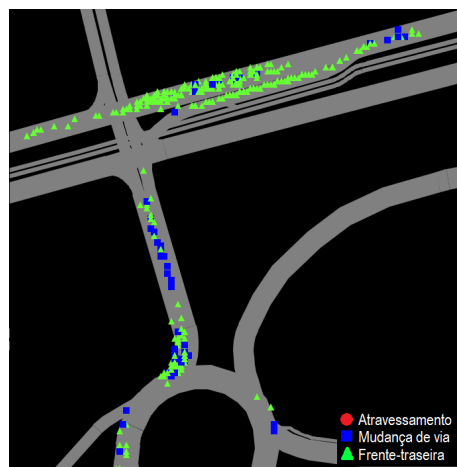
são verificados os valores de 1,0 e 1,5 segundos, para o TTC e o PET. Relacionando os restantes parâmetros de segurança rodoviária, e tendo por base que quanto menor forem os valores dos parâmetros MaxV, ΔV e DR (em valor absoluto), menos gravidade provirá das potenciais colisões. Tanto em A como em B, os maiores valores de MaxV e ΔV foram iguais, correspondendo a 12,4 e 15,0 m.s⁻¹, respetivamente, e associam-se aos conflitos de atravessamento. O parâmetro DR apresentou o valor mais pequeno nesta tipologia de conflitos, não sendo assim possível defini-los como os mais graves. Em comparação com A e B, no trajeto C, os valores de MaxV e ΔV , para a tipologia de conflitos de atravessamento, apresentaram uma redução de 46% e 61% na probabilidade de ocorrência de colisões. Para este caso, não há nenhum tipo de conflito que possa ser considerado o mais ou menos grave, uma vez que cada um deles apresenta um valor absoluto mais elevado de uma variável em relação à outra. Por exemplo, os conflitos de atravessamento têm o maior valor de ΔV , por outro lado, os de frente-traseira o mais elevado de MaxV. Os de mudança de via são os que registam o valor mais alto de DR.

De um modo global os três trajetos apresentam igual probabilidade de ocorrência de colisões, uma vez que os seus valores médios totais de TTC e PET foram iguais, correspondendo a 1,0 e 1,5 segundos, respetivamente. O parâmetro ΔV foi menor no trajeto C, já os parâmetros MaxV e DR foram menores em A e B, logo não foi possível concluir qual o pior trajeto ou a tipologia de conflitos que se caracteriza por uma menor gravidade das colisões potenciais. No entanto, é importante referir que no trajeto C todas as tipologias de conflitos registaram (individualmente) valores de TTC e PET superiores ou iguais aos restantes tipos observados nos outros trajetos, e apresentaram também o menor número total dos mesmos.

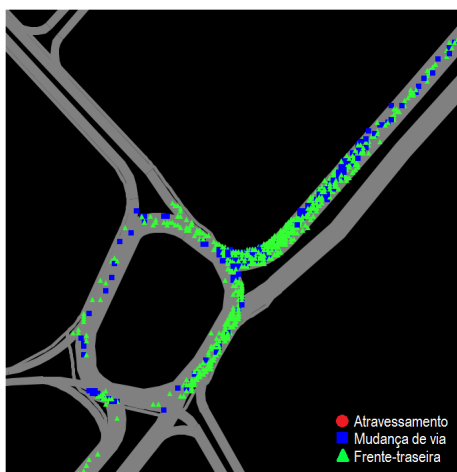
Na figura 4.1 visualizam-se as duas zonas, de cada trajeto (A, B e C), onde o maior número de conflitos, por tipologia, foi registado. Tanto no trajeto A como B, a rotunda do Hospital (sub-figuras (a) e (c)) foi o local onde se verificaram mais conflitos. Em (c) são observados mais conflitos do que em (a), principalmente na avenida que dá acesso a uma das entradas da rotunda e na saída para continuação do trajeto B. Este facto deve-se ao maior fluxo de bicicletas no trajeto supracitado, relativamente a A, uma vez que a saída a selecionar no trajeto B é a última da rotunda. Nas sub-figuras (b) e (d) é apresentado o outro local onde o número de conflitos é também elevado. Localiza-se na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, nomeadamente no local onde é realizada a viragem à esquerda para fora desta, o que permite a continuação do percurso no trajeto A e B. Esta é também uma zona crítica em C, mas que neste se prolonga ao longo da avenida (sub-figura (f)). Por fim, a rotunda das pontes revelou-se como a segunda zona do trajeto C onde a ocorrência de conflitos é maior.



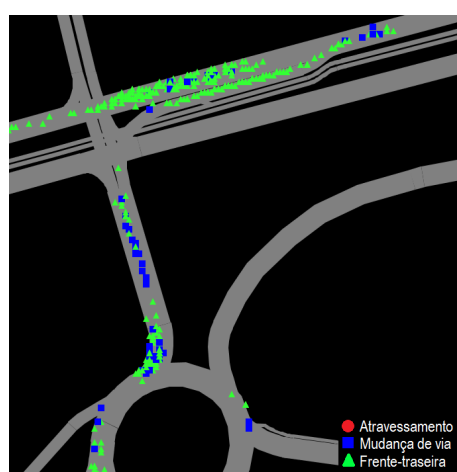
(a) Rotunda do Hospital - Trajeto A



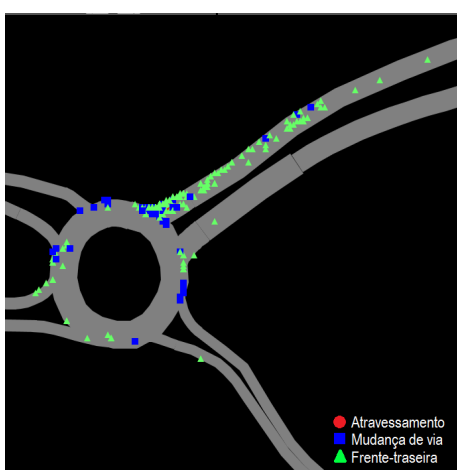
(b) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto A



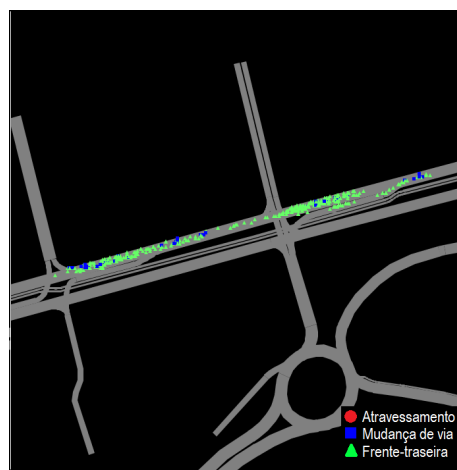
(c) Rotunda do Hospital - Trajeto B



(d) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto B



(e) Rotunda das Pontes - Trajeto C



(f) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto C

Figura 4.1: Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Base

4.1.2 Cenário Alternativo 1

Na tabela 4.2 são apresentados os valores, correspondentes à média das 15 simulações efetuadas, das medidas representativas de segurança rodoviária por trajeto e tipologia de conflito.

Na tabela A.8 (em Anexo) apresenta-se o número total de conflitos por simulação em cada trajeto. Nas imagens A.2, A.3 e A.4 (do mesmo Anexo) são comparados os números de conflitos por tipo, em cada trajeto, para o cenário base e o alternativo 1.

Tabela 4.2: Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 1

Trajeto	Tipo de Conflito	Média de Conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
A	Atravessamento	7,5	0,6	0,6	12,0	14,6	-0,2
	Frente-traseira	172,8	1,1	1,6	6,2	3,9	-1,6
	Mudança de via	47,0	1,0	1,3	7,2	5,4	-1,5
	Total	227,3	1,0	1,5	6,7	4,7	-1,5
B	Atravessamento	6,9	0,5	0,5	12,3	14,6	-0,2
	Frente-traseira	179,2	1,1	1,6	6,1	3,9	-1,6
	Mudança de via	48,6	1,0	1,3	7,2	5,4	-1,5
	Total	234,7	1,0	1,5	6,6	4,6	-1,5
C	Atravessamento	0,9	0,9	1,3	6,5	4,8	-1,8
	Frente-traseira	71,6	1,0	1,6	6,7	3,8	-2,1
	Mudança de via	15,3	1,0	1,6	6,6	3,7	-1,9
	Total	87,8	1,0	1,6	6,6	3,8	-2,0

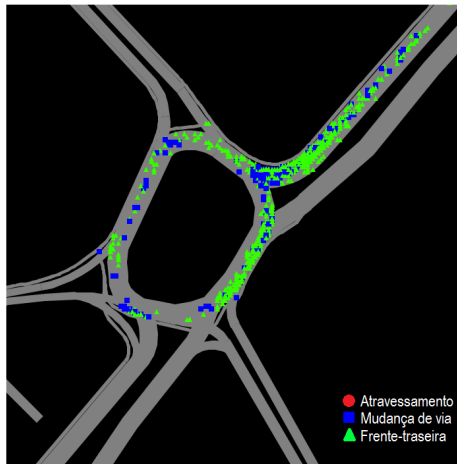
No presente cenário o trajeto A apresentou em média 227,3 conflitos por cada simulação efetuada, menos 7,4 conflitos que o total observado em B. Os conflitos de frente-traseira corresponderam a 76% do total em ambos os trajetos. Uma vez mais, no trajeto C o valor total de conflitos é menor, num total médio de 87,8. Tal como em A e B, os conflitos de frente-traseira são os mais comuns (82% do total) e os de atravessamento os menos, representando apenas 1%.

Com a implementação de ciclovias ao longo de todos os trajetos verificou-se uma diminuição no número total de conflitos observados, relativamente ao cenário base, de 27%, 28% e 4% (correspondendo ao trajeto A, B e C, respetivamente). Uma vez mais as tipologias que apresentaram maior e menor número de ocorrências foram as de frente-traseira e as de atravessamento, tal como no cenário base. No cenário alternativo 1 os conflitos de frente-traseira representaram 76% e os de atravessamento apenas 3%, do total no trajeto A e B. Em C, os mesmos conflitos corresponderam a 82% e 1%, respetivamente.

Comparando os parâmetros de TTC e PET, o trajeto C, em relação ao A e B, apresentou os maiores valores (1,0 e 1,6 segundos), definindo-se assim como o trajeto onde a probabilidade de ocorrência de colisões é menor. Tal não aconteceu no cenário base, onde não foi possível distinguir, em termos globais, qual o melhor trajeto segundo os mesmos parâmetros, uma vez que todos eles apresentaram valores semelhantes. O trajeto C do cenário alternativo 1, comparativamente a todos os outros (do cenário base) é também o que apresenta os maiores valores de TTC e PET, com ênfase para o aumento de 3% no parâmetro PET.

Nas restantes medidas de segurança em análise os parâmetros de MaxV e ΔV foram mais elevados nos conflitos de atravessamento e DR nos de frente-traseira, tanto no trajeto A como no B. Em C, ao contrário dos anteriores, o valor de MaxV foi superior nos conflitos de frente-traseira. Comparativamente com o cenário base, nos trajetos A e B, os números de MaxV, ΔV e DR (totais) registados no cenário em análise demonstraram-se superiores. Os valores de MaxV do trajeto A e B aumentaram 6% e 5% e os de ΔV 7% e 5%. No trajeto C a variável ΔV foi menor em 4% relativamente ao valor verificado no cenário base. Por fim, DR registou um aumento percentual de 14% para o trajeto A e B e de 17% para o C. Apesar da probabilidade na ocorrência de colisões ser menor no trajeto C, não é possível caracteriza-lo como o melhor a nível da segurança rodoviária, isto porque, apesar de os valores de MaxV e ΔV serem os mais baixos (relativamente a todos os outros trajetos), o valor de DR é o mais elevado, tanto nos do cenário base como deste cenário.

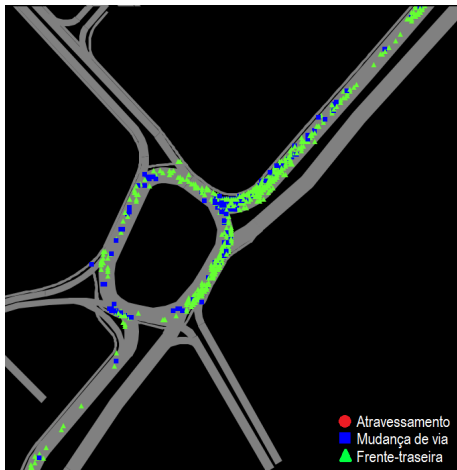
Na figura 4.2 visualizam-se as zonas em cada trajeto (A, B e C), onde o maior número de conflitos foi observado. Tanto no trajeto A como no B, a rotunda do Hospital (sub-figura (a) e (c)) foi uma zona crítica, registando a percentagem mais elevada de conflitos. Comparativamente às mesmas figuras apresentadas no cenário base, é possível verificar a escassez de pontos (o que se traduz em menos conflitos) em certos locais do mapa, principalmente na Avenida de acesso à rotunda (do trajeto A e B) e nas saídas da mesma (para os mesmos trajetos). De acordo com as sub-figuras (b) e (d), o número de conflitos foi igualmente elevado na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, nomeadamente na zona de viragem à esquerda em direção à Rua do Eng. Oudinot (a mesma que permite a continuação dos trajetos A e B). Nesta zona verificou-se um maior número de conflitos face ao cenário base. Mas na rotunda (também visível nas mesmas figuras) deram-se mais conflitos no cenário base que no alternativo 1. Facto expectável devido a inexistência de ciclovias naquele local do cenário base. A zona da Avenida Dr. Lourenço Peixinho, em análise, é também uma zona crítica do trajeto C, mas que neste se prolonga até ao próximo cruzamento semaforizado da Avenida (sub-figura (f)). Finalmente, a rotunda das pontes (parte integrante do trajeto C) foi a segunda zona onde a ocorrência de conflitos foi superior. É possível visualizar uma maior diversidade no tipo de conflitos, mas também uma redução dos mesmos, em relação à mesma figura do cenário base.



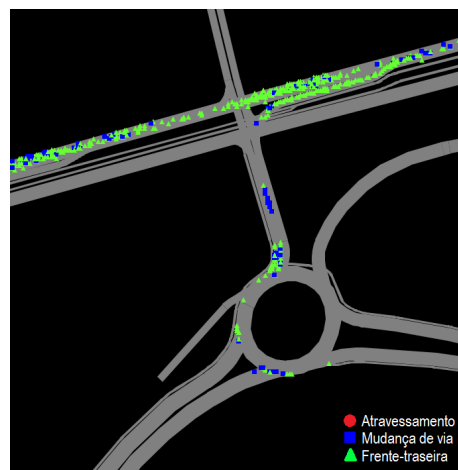
(a) Rotunda do Hospital - Trajeto A



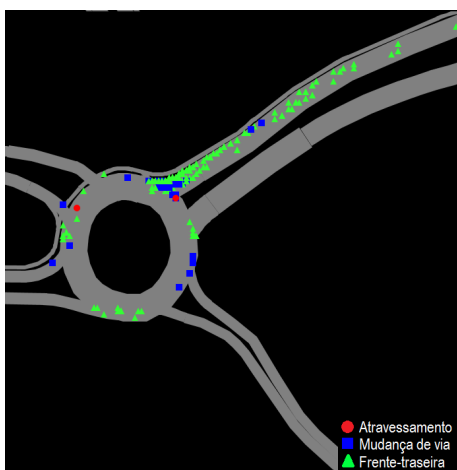
(b) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto A



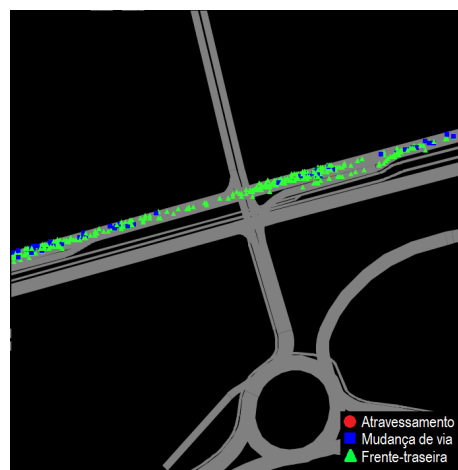
(c) Rotunda do Hospital - Trajeto B



(d) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto B



(e) Rotunda das Pontes - Trajeto C



(f) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto C

Figura 4.2: Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 1

4.1.3 Cenário Alternativo 2

Na tabela 4.3 são apresentados os valores, correspondentes à média das 15 simulações efetuadas, das medidas representativas de segurança rodoviária por trajeto e tipologia de conflito.

Na tabela A.9 (em Anexo) apresenta-se o número total de conflitos por simulação em cada trajeto. Nas imagens A.5, A.6 e A.7 (do mesmo Anexo) são comparados os números de conflitos por tipo, em cada trajeto, para o cenário base e o alternativo 2.

Tabela 4.3: Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 2

Trajeto	Tipo de Conflito	Média de Conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
A	Atravessamento	7,5	0,6	0,6	11,7	13,9	-0,2
	Frente-traseira	284,8	1,0	1,5	5,6	3,6	-1,4
	Mudança de via	73,6	1,0	1,3	6,9	5,4	-1,3
	Total	365,9	1,0	1,4	6,0	4,2	-1,3
B	Atravessamento	7,2	0,6	0,6	11,8	13,9	-0,2
	Frente-traseira	303,5	1,0	1,5	5,7	3,6	-1,3
	Mudança de via	77,7	1,0	1,3	7,1	5,4	-1,4
	Total	388,5	1,0	1,4	6,1	4,2	-1,3
C	Atravessamento	2,4	1,1	1,5	6,7	5,6	-1,4
	Frente-traseira	84,7	1,0	1,5	6,6	3,6	-1,7
	Mudança de via	21,8	1,0	1,5	6,6	4,1	-1,7
	Total	108,9	1,0	1,5	6,6	4,0	-1,7

No trajeto A registaram-se em média 365,9 conflitos por cada uma das 15 simulações efetuadas, sendo que os de frente-traseira corresponderam a 78% e os de atravessamento a 2%, do total. No trajeto B os valores percentuais associados a cada tipologia de conflito são ligeiramente superiores, relativamente a A, verificando-se igualmente que os de frente-traseira e de atravessamento são os mais e menos frequentes, respetivamente. Um facto comum (constatado até agora), entre o trajeto base, o alternativo 1 e o em análise, reside no facto de o trajeto B apresentar sempre o volume mais elevado de conflitos, comparativamente aos outros trajetos. Para este cenário, os conflitos do trajeto B representam mais 6%, do total de A, e 72% do de C.

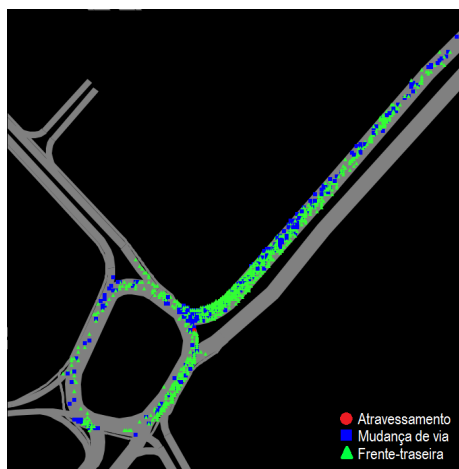
Tal como esperado, o aumento em 10 vezes do número de bicicletas inseridas na rede, em relação às introduzidas inicialmente no cenário base, levou ao aumento do número total de conflitos em todos os trajetos (em relação ao cenário base), nomeadamente em 17%, 20% e 19%, correspondendo ao trajeto A, B e C, respetivamente. Uma vez mais, à semelhança do cenário base, os tipos de conflito que apresentaram maior e menor probabilidade de ocorrência foram os de frente-traseira e os de atravessamento, respetivamente. No trajeto C, comparativamente com A e B (que apresentaram menores valores de TTC (1,0s) e PET (1,4s)), os mesmos parâmetros foram superiores (1,0 e 1,5 segundos), logo será este o trajeto onde a probabilidade de ocorrência de colisões será menor. Comparando com o cenário base, o trajeto C do alternativo 2, demonstrou a mesma probabilidade na ocorrência de possíveis colisões, tendo em conta que os valores médios totais de TTC e PET foram iguais. No entanto, no cenário base ocorreram menos

conflitos totais.

Os valores de MaxV e ΔV foram mais elevados nos conflitos de atravessamento e DR nos de frente-traseira, em todos os trajetos, à exceção de B, que apresentou o maior valor de DR nos conflitos de mudança de via. Comparativamente ao cenário base, os valores totais (do cenário em análise) de MaxV e ΔV foram inferiores, e os de DR iguais. A variável MaxV dos trajetos A, B e C diminuiu 3%, 4% e 1%, respetivamente. Ao mesmo tempo, ΔV diminuiu 4% no trajeto A e 5% no B, mantendo-se constante em C.

Em suma, os trajetos A e B do cenário em análise, comparativamente ao base, apresentam uma maior probabilidade na ocorrência de colisões, estando esta conclusão baseada nos valores apresentados de TTC e PET, onde é visível a diminuição do parâmetro PET de 1,5 segundos (no cenário base) para 1,4 (neste cenário). O trajeto C mantém os valores de PET e TTC, do mesmo, no cenário base. No entanto, todos os tipos de conflito registados neste trajeto apresentam menor gravidade nas potenciais colisões, comparativamente aos observados no base. Somente o valor de DR é comum entre trajetos e cenários, não ocorrendo diminuição nem aumento no total de ambos. Já os parâmetros de MaxV e ΔV foram inferiores em cada um dos trajetos deste cenário.

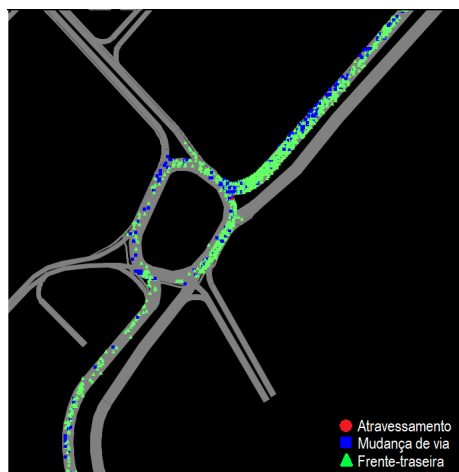
Na figura 4.4 visualizam-se as zonas em cada trajeto (A, B e C), onde o maior número de conflitos foi observado. Tanto no trajeto A como B, a rotunda do Hospital (sub-figura (a) e (c)) foi a zona onde foi verificado o maior número de conflitos. Comparativamente com as mesmas figuras apresentadas no cenário base, é possível verificar visualmente o aumento de pontos (representam a tipologia de conflito, como referenciado na legenda de cada figura) em certas zonas do mapa, nomeadamente num ramo de entrada e noutro ramo de saída da rotunda. Nas sub-figuras (b) e (d) é apresentado outro local onde o número de conflitos observados foi também abundante. Localiza-se na Avenida Dr. Lourenço Peixinho, nomeadamente no local onde é efetuada a viragem à esquerda para fora da mesma e que permite a continuação do trajeto A e B. Neste caso, ocorreram mais conflitos naquela zona da Avenida e na rotunda anexa a esta (também visível nas figuras), principalmente na entrada e saída, comparativamente aos ocorridos no cenário base. Esta é também uma zona crítica do trajeto C, mas que neste se prolonga até ao próximo cruzamento semaforizado da Avenida (sub-figura (f)). Os conflitos observados, comparativamente ao cenário base são parecidos quer em termos de número quer ao nível da tipologia. Por fim, a rotunda das pontes (no trajeto C) foi a segunda zona onde a ocorrência de conflitos foi superior. Neste caso, também se verifica um aumento de pontos na figura, principalmente na saída da rotunda. O aumento na observação de conflitos é explicado pelo aumento no número de bicicletas na rede comparativamente ao cenário base.



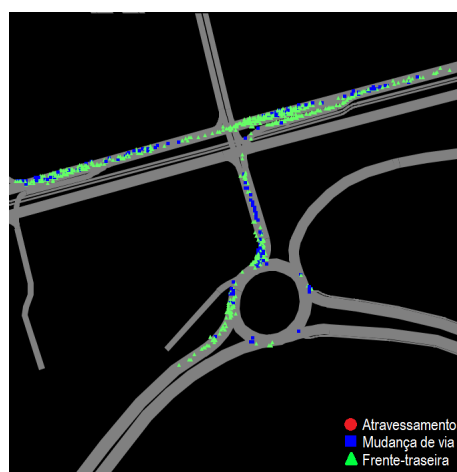
(a) Rotunda do Hospital - Trajeto A



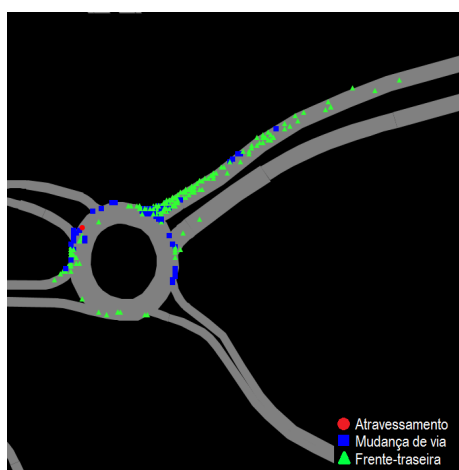
(b) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto A



(c) Rotunda do Hospital - Trajeto B



(d) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto B



(e) Rotunda das Pontes - Trajeto C



(f) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto C

Figura 4.3: Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 2

4.1.4 Cenário Alternativo 3

Na tabela 4.4 são apresentados os valores, correspondentes à média das 15 simulações efetuadas, das medidas representativas de segurança rodoviária por trajeto e tipologia de conflito.

Na tabela A.10 (em Anexo) apresenta-se o número total de conflitos por simulação em cada trajeto. Nas imagens A.8, A.9 e A.10 (do mesmo Anexo) são comparados os números de conflitos por tipo, em cada trajeto, para o cenário base e o alternativo 3.

Tabela 4.4: Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 3

Trajeto	Tipo de Conflito	Média de Conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
A	Atravessamento	7,0	0,6	0,6	12,0	14,2	-0,3
	Frente-traseira	209,6	1,1	1,6	5,7	3,7	-1,4
	Mudança de via	56,0	1,0	1,3	6,5	5,0	-1,3
	Total	272,6	1,0	1,5	6,0	4,3	-1,4
B	Atravessamento	6,9	0,6	0,6	12,0	14,1	-0,3
	Frente-traseira	234,2	1,1	1,5	5,7	3,6	-1,4
	Mudança de via	60,7	1,0	1,3	6,7	5,1	-1,3
	Total	301,7	1,0	1,5	6,1	4,2	-1,3
C	Atravessamento	3,3	1,0	1,5	6,4	6,0	-1,7
	Frente-traseira	59,1	1,0	1,6	6,4	3,9	-1,6
	Mudança de via	15,5	1,0	1,7	6,1	3,9	-1,7
	Total	78,0	1,0	1,6	6,1	4,1	-1,7

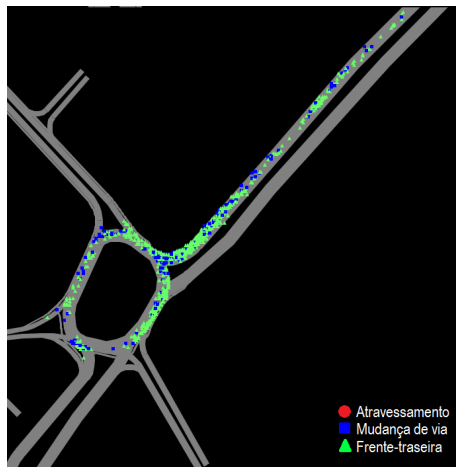
No presente cenário, o trajeto A apresentou em média 272,6 conflitos por cada simulação efetuada, menos 10% que o total de conflitos observados no trajeto B. Os de frente-traseira corresponderam a 77%, representando assim a tipologia mais frequente, sendo que os de atravessamento (menos observados) apenas contribuíram 3% para a totalidade, em ambos os trajetos. No trajeto C o valor total de conflitos é menor, sendo que os 78 registados representam 71% e 77% menos que o total de A e B. Em todos os trajetos os conflitos de frente-traseira são os mais frequentes e os de atravessamento os menos.

A redução de veículos motorizados e a adição do número de bicicletas na rede, fez com que o valor total de conflitos observados diminuísse, em relação ao cenário base, em 13%, 7% e 15%, correspondendo ao trajeto A, B e C respetivamente. Os tipos de conflito que apresentaram maior e menor número de ocorrências foram os de frente-traseira e os de atravessamento, tal como no cenário base. O trajeto C, em relação ao A e B, apresentou os maiores valores de TTC (1,0s) e PET (1,6s), definindo-se assim como o trajeto onde a probabilidade de ocorrência de colisões é menor. Comparativamente com todos os outros trajetos do cenário base, este é também o que apresenta maiores valores dos parâmetros referidos.

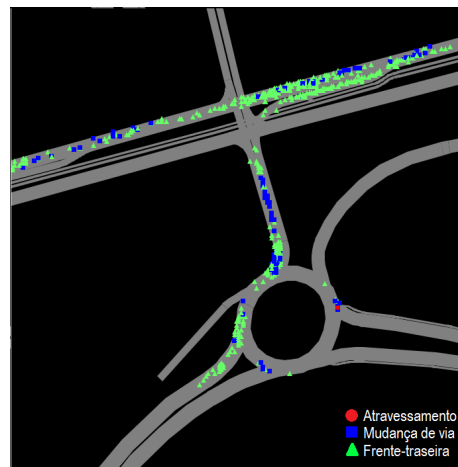
Para as outras medidas de segurança rodoviária, os valores de MaxV e ΔV foram mais elevados para os conflitos de atravessamento e DR para os de frente-traseira, tanto no trajeto A como no B. Em C, ao contrário dos anteriores, o valor de DR foi superior nos conflitos de atravessamento e mudança de via. Comparativamente com o cenário base,

os valores totais de MaxV e ΔV para o trajeto A e B demonstraram-se inferiores. O parâmetro MaxV , de A e B, diminuiu 3% e 4%, respetivamente, e o valor da variável ΔV foi reduzido em 3% e 5%, na mesma ordem de comparação. O trajeto C foi o único onde foi verificado o aumento de ΔV (em $0,1 \text{ m.s}^{-2}$), comparativamente ao mesmo trajeto do cenário base. Por fim, os valores de DR não registaram alterações percentuais significativas, mantendo-se assim similares aos do cenário base, em todos os trajetos. O trajeto C foi o que apresentou a menor probabilidade da ocorrência de colisões provenientes dos conflitos registados.

Na figura 4.4 visualizam-se as duas zonas, de cada trajeto (A, B e C), onde se observa o maior número de conflitos. Tanto no trajeto A como no B, a rotunda do Hospital (sub-figura (a) e (c)) foi o local onde se verificaram mais conflitos. Comparativamente com o cenário base, é possível verificar que neste caso a Avenida Artur Ravara (que dá acesso a uma das entradas da rotunda) e também a rua que dá continuação ao trajeto B (saída da rotunda) apresentaram mais conflitos. O aumento do fluxo de bicicletas (apesar de benéfico do ponto de vista da mobilidade sustentável), provoca um maior número de conflitos em zonas que não estejam abrangidas por ciclovias. Nas sub-figuras (b) e (d) demonstra-se o local na Avenida Dr. Lourenço Peixinho onde também se registaram bastantes conflitos, nomeadamente no local onde é realizada a viragem à esquerda para saída da mesma e que permite a continuação do trajeto A e B. Neste local não se verificam grandes diferenças visuais comparativamente aos conflitos ocorridos no cenário base. Esta zona é também crítica no trajeto C, mas neste prolonga-se ao longo da Avenida até ao próximo cruzamento semaforizado (sub-figura (f)). Por fim, a rotunda das pontes (sub-figura (e)) foi a segunda zona do trajeto C onde a ocorrência de conflitos foi maior. Comparando a mesma figura no cenário base, não são perceptíveis alterações no número total de conflitos mas sim na tipologia dos mesmos, verificando-se uma maior frequência nos conflitos de mudança de via.



(a) Rotunda do Hospital - Trajeto A



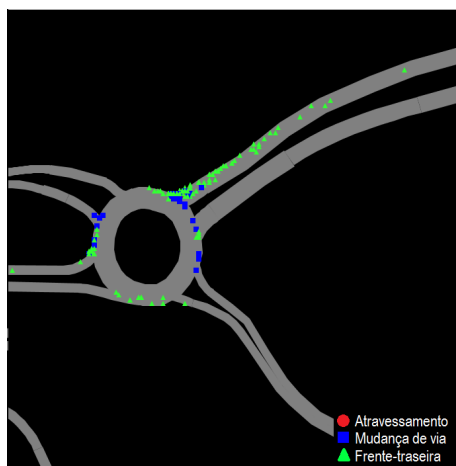
(b) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto A



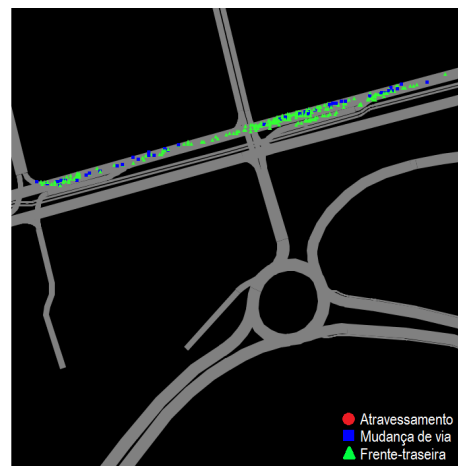
(c) Rotunda do Hospital - Trajeto B



(d) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto B



(e) Rotunda das Pontes - Trajeto C



(f) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto C

Figura 4.4: Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 3

4.1.5 Cenário Alternativo 4

Na tabela 4.5 são apresentados os valores, correspondentes à média das 15 simulações efetuadas, das medidas representativas de segurança rodoviária por trajeto e tipologia de conflito.

Na tabela A.11 (em Anexo) apresenta-se o número total de conflitos por simulação em cada trajeto. Nas imagens A.11, A.12 e A.13 (do mesmo Anexo) são comparados os números de conflitos por tipo, em cada trajeto, para o cenário base e o alternativo 4.

Tabela 4.5: Média das medidas representativas da segurança rodoviária no Cenário Alternativo 4

Trajeto	Tipo de Conflito	Média de Conflitos	TTC [s]	PET [s]	MaxV [m.s ⁻¹]	ΔV [m.s ⁻¹]	DR [m.s ⁻²]
A	Atravessamento	7,7	0,5	0,5	8,5	11,4	-0,2
	Frente-traseira	247,2	1,0	1,4	5,2	3,0	-1,3
	Mudança de via	59,0	0,9	1,3	5,7	4,2	-1,3
	Total	313,9	1,0	1,4	5,4	3,4	-1,2
B	Atravessamento	7,7	0,5	0,5	8,5	11,4	-0,2
	Frente-traseira	262,9	1,0	1,4	5,3	3,0	-1,2
	Mudança de via	60,9	1,0	1,3	5,7	4,2	-1,3
	Total	331,6	1,0	1,4	5,4	3,4	-1,2
C	Atravessamento	1,7	0,9	1,3	5,9	4,4	-1,6
	Frente-traseira	96,1	0,9	1,4	5,7	2,8	-1,9
	Mudança de via	19,1	0,9	1,4	5,6	2,9	-1,8
	Total	116,9	0,9	1,4	5,7	2,9	-1,8

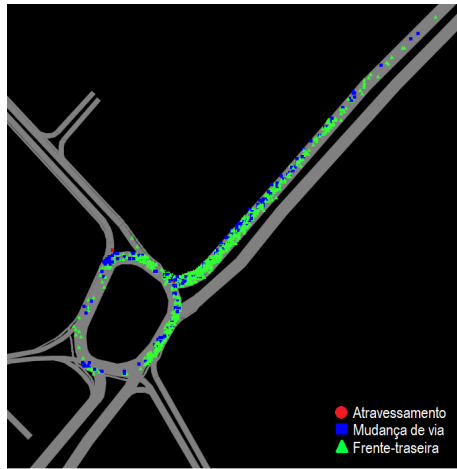
Neste cenário, o trajeto B registou o maior número total de conflitos (331,6), mais 6% do que A e 63% que C. Para todos os trajetos, os conflitos de frente-traseira foram os mais frequentes. Apesar de no trajeto C se terem observado menos conflitos, comparativamente a A e B, a probabilidade de ocorrência de colisões foi superior neste caso. Foram registados valores de TTC e PET de 0,9 e 1,4 segundos, respetivamente, enquanto que em A e B o valor total de TTC não foi inferior a 1,0 segundos. Por outro lado, analisando a gravidade das potenciais colisões, o parâmetro ΔV é inferior em 15% comparativamente ao trajeto A e B. Já MaxV e DR são superiores em C, 4% e 33%, respetivamente.

A criação de zonas de velocidade máxima de 30 km/h fez aumentar o número total de conflitos no trajeto A em 1 unidade, em B 2% e C 27%, relativamente aos números totais médios do cenário base. A probabilidade de ocorrência de colisões é superior em todos os trajetos deste cenário porque se verificam valores de TTC e PET inferiores (em relação ao base). Apesar de a velocidade média dos veículos ser menor, o fluxo e acumulação de tráfego, nomeadamente em rotundas e cruzamentos, faz com que o número de conflitos aumente. Por outro lado, neste cenário, a gravidade proveniente das colisões potenciais é menor comparativamente com todos os trajetos do cenário base. No trajeto A e B, os valores de MaxV, ΔV e DR diminuíram 14%, 22% e 7%, respetivamente. O trajeto C apresentou uma diminuição mais acentuada dos parâmetros em análise, 15% em MaxV e 27% em ΔV .

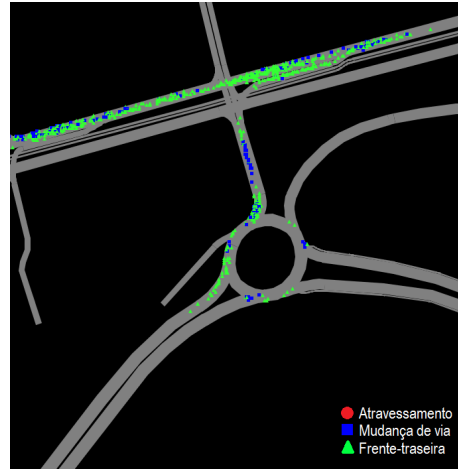
Em suma, o cenário alternativo 4 apresentou mais conflitos, por total e tipologia, em relação ao base. Os valores de TTC e PET foram também inferiores neste cenário,

o que faz aumentar a probabilidade de ocorrerem colisões. As colisões, caso ocorram, dão-se com menos gravidade neste cenário do que no base, estando este facto assente nos valores mais baixos de MaxV , ΔV e DR , verificados. A diminuição destes parâmetros é explicada devido à velocidade mais baixa a que circulam os veículos (limite máximo de 30 km/h).

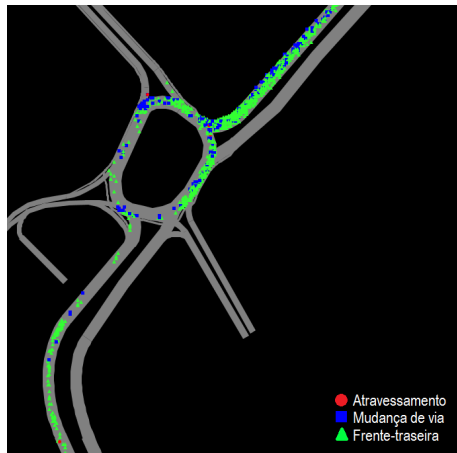
Na figura 4.5 demonstram-se os locais de cada trajeto (A, B e C) onde a ocorrência de conflitos foi mais elevada. À semelhança dos cenários anteriores, a rotunda do Hospital (sub-figura (a) e (c)) foi a zona com a maior incidência de conflitos. Comparativamente com as figuras apresentadas no cenário base, é possível verificar que neste caso os conflitos se estendem, em quantidade e tipologia, pela Avenida que dá acesso à rotunda e rua que permite a saída desta. Como foi constatado, apesar de a velocidade média de circulação dos veículos motorizados ser menor, o número de conflitos aumentou, mas não a sua gravidade, em caso de ocorrerem colisões. Nas sub-figuras (b) e (d), representando a Avenida Dr. Lourenço Peixinho, nomeadamente o local onde é realizada a viragem à esquerda para fora da mesma, a rotunda também visível nas mesmas figuras, é um local onde se registaram mais conflitos, neste caso, de frente-traseira e mudança de via, comparativamente ao cenário base. A zona referida da Avenida Dr. Lourenço Peixinho é também um local crítico no trajeto C, mas para este caso, prolonga-se até ao próximo cruzamento semaforizado (sub-figura (f)), onde se verifica a acumulação de conflitos, tanto no cenário base como neste. A rotunda das pontes (sub-figura (e)) foi a segunda zona, do trajeto C, onde a ocorrência de conflitos total foi maior. Neste local, comparativamente ao cenário base, observa-se um aumento de conflitos (em maior percentagem nos de frente-traseira e atravessamento).



(a) Rotunda do Hospital - Trajeto A



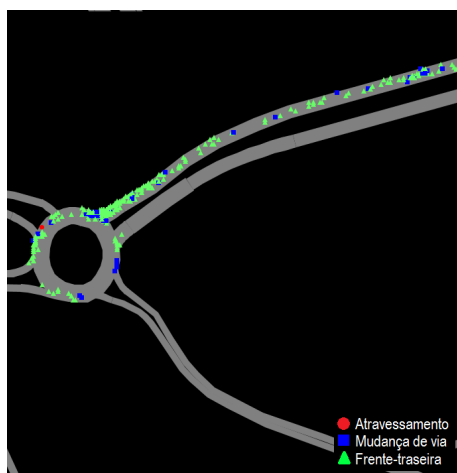
(b) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto A



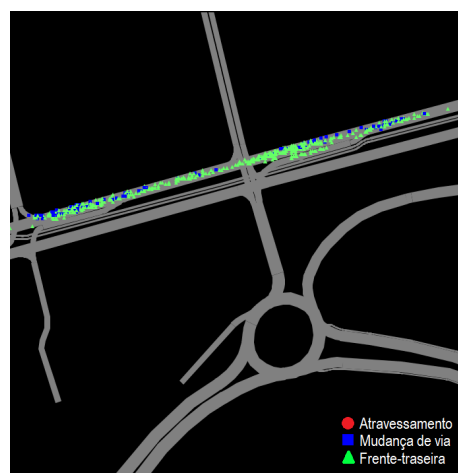
(c) Rotunda do Hospital - Trajeto B



(d) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto B



(e) Rotunda das Pontes - Trajeto C



(f) Av. Dr. Lourenço Peixinho - Trajeto C

Figura 4.5: Zonas onde é visível o maior número de conflitos no Cenário Alternativo 4

4.2 Análise Estatística de Resultados

Nesta secção são comparadas as medidas representativas da segurança rodoviária nos três trajetos em estudo do cenário base, comparativamente aos alternativos. Para tal foi realizada uma análise estatística em *SPSS* [51] tendo por base o número total de conflitos e as médias das medidas em análise. Para o parâmetro TTC em específico foram definidos três intervalos de tempo (0,5, 1,0 e 1,5 segundos), sendo que o menor (0,5s) é o que apresenta a maior probabilidade de ocorrência de colisões. Pela ordem contrária, TTC's de 1,5 segundos representam menor probabilidade.

Nas tabelas ao longo desta secção são exibidos os resultados referentes ao total de conflitos e aos valores das médias das medidas representativas da segurança rodoviária. O valor do *p-value* relativo ao teste t das amostras em análise também é apresentado sendo que nos casos em que o teste de *Levene* rejeitou H_0 (explicação em anexo), os resultados sobre a diferença de médias consideraram variâncias das amostras diferentes. As células a sombreado em cada tabela indicam as diferenças significativas a analisar para os cenários em comparação, em todos os trajetos. De referir que o valor do teste t crítico é maior quanto menor for o número de amostras, resultando assim, por vezes, em diferenças de médias não significativas, apesar de se poderem verificar em alguns casos diferenças percentuais relevantes.

O cenário alternativo 1, comparativamente ao base, apresentou menos conflitos médios totais em todos os seus trajetos (figura 4.6), fundamentalmente devido à implementação de ciclovias ao longo dos mesmos.

Na tabela 4.6 somente o intervalo de $TTC \leq 1,5$, do cenário alternativo 1, apresentou diferenças significativas (*p-value* < 0,05) em relação ao base, mais propriamente nos trajetos A e B onde se verifica uma pequena diferença de 0,7% para esta variável.

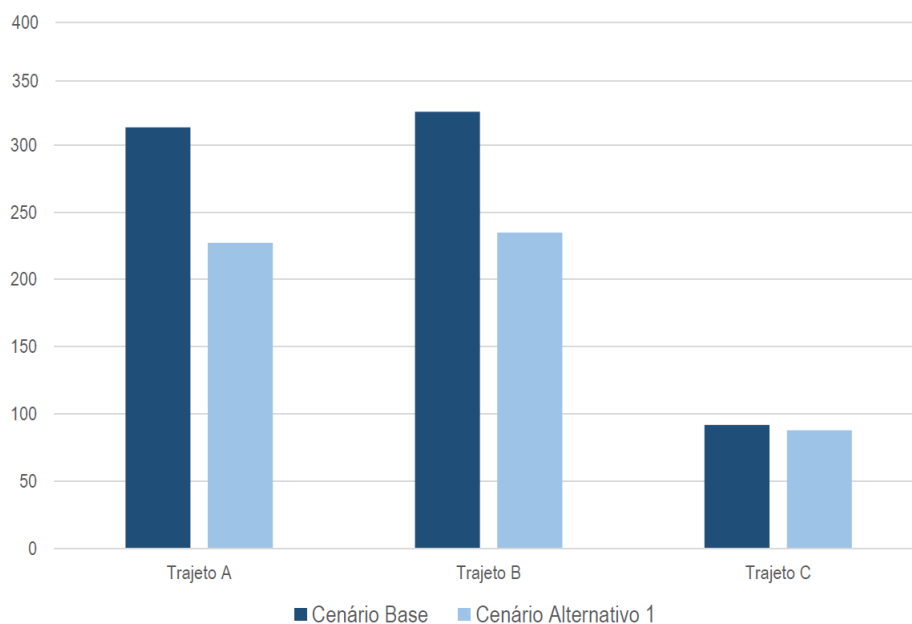


Figura 4.6: Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 1

Tabela 4.6: Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 1

Total	TTC $\leq 0,5$		TTC ≤ 1		TTC $\leq 1,5$	
	CB	CA1	CB	CA1	CB	CA1
Trajeto A Média	0,24	0,25	0,82	0,82	1,34	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,066; 4,2%		0,394; 0%		0,003; 0,7%	
Trajeto B Média	0,23	0,25	0,82	0,82	1,34	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,068; 8,7%		0,491; 0%		0,001; 0,7%	
Trajeto C Média	0,18	0,2	0,82	0,83	1,35	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,109; 11,1%		0,253; 1,2%		0,702; 0%	

Na tabela 4.7 verificam-se diferenças significativas em todos os trajetos. Embora no trajeto C a diferença apenas se tenha verificado na variável DR, a qual apresentou o valor de *p-value* de 0,001, sendo o suficiente para penalizar o caso de estudo. Todas as outras medidas representativas do trajeto A e B apresentaram variações, à exceção do valor de PET em A, e o parâmetro MaxV, em B.

Tabela 4.7: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 1

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	CB	CA1	CB	CA1	CB	CA1	CB	CA1	CB	CA1
Trajeto A Média	1,02	1,05	1,48	1,52	6,32	6,65	4,4	4,69	-1,33	-1,51
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,002; 2,9%		0,114; 2,7%		0; 5,2%		0; 6,6%		0; 13,5%	
Trajeto B Média	1,02	1,05	1,48	1,53	6,32	6,62	4,4	4,64	-1,33	-1,51
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,001; 2,9%		0,035; 3,4%		0; 4,7%		0,001; 5,5%		0; 13,5%	
Trajeto C Média	0,97	0,97	1,52	1,57	6,66	6,63	4,01	3,83	-1,68	-1,97
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,772; 0%		0,263; 3,3%		0,778; -0,5%		0,077; -4,5%		0,001; 17,3%	

Ao contrário da comparação anterior, neste caso, onde se introduziram 10 vezes mais bicicletas na rede comparativamente às que circulam no cenário base, o número de conflitos aumentou em todos os trajetos do cenário alternativo 2 (figura 4.7).

Na tabela 4.8 não foram verificadas quaisquer diferenças percentuais significativas, entre os cenários, para os intervalos de TTC definidos.

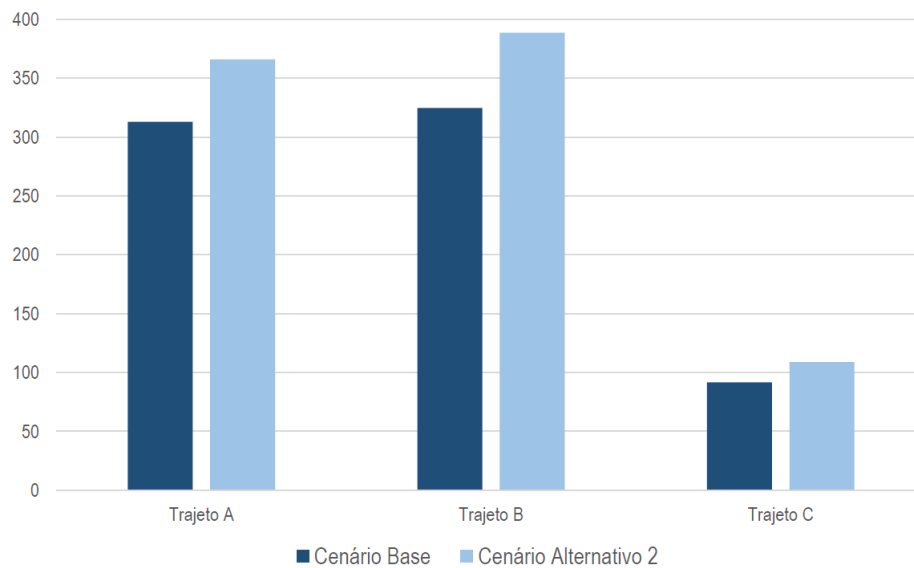


Figura 4.7: Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 2

Tabela 4.8: Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 2

Total	TTC ≤ 0,5		TTC ≤ 1		TTC ≤ 1,5	
	CB	CA2	CB	CA2	CB	CA2
Trajeto A Média	0,24	0,24	0,82	0,82	1,34	1,34
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,582; 0%		0,984; 0%		0,412; 0%	
Trajeto B Média	0,23	0,24	0,82	0,82	1,34	1,34
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,552; 4,3%		0,989; 0%		0,438; 0%	
Trajeto C Média	0,18	0,19	0,82	0,82	1,35	1,34
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,279; 5,6%		0,735; 0%		0,221; -0,7%	

As medidas representativas da segurança rodoviária apresentadas na tabela 4.9, comparativamente ao cenário base, apenas indicam diferenças significativas nas médias dos valores de MaxV e ΔV para o trajeto A e B. O *p-value* em ambos os casos foi zero, sendo que as diferenças percentuais foram de 5,2% e 4,6% na variável MaxV, e de 6,8% e 7,5% em ΔV , respetivamente.

Tabela 4.9: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 2

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	CB	CA2	CB	CA2	CB	CA2	CB	CA2	CB	CA2
Trajetos A Média	1,02	1,03	1,48	1,45	6,32	5,99	4,4	4,1	-1,33	-1,3
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,137; 1%		0,220; -2%		0; -5,2%		0; -6,8%		0,497; 2,3%	
Trajetos B Média	1,02	1,02	1,13	1,13	6,32	6,03	4,4	4,07	-1,33	-1,31
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,368; 0%		0,106; 0%		0; -4,6%		0; -7,5%		0,719; -1,5%	
Trajetos C Média	0,97	1	1,52	1,51	6,66	6,6	4,01	4,01	-1,68	-1,65
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,123; 2,70%		0,792; 1,04%		0,567; -0,9%		0,979; 0%		0,746; -1,8%	

No cenário alternativo 3, comparativamente ao base, o facto de terem sido retirados veículos motorizados na proporção relativa à sua taxa de ocupação (1,37), tendo em conta o número de bicicletas adicionado (10 vezes mais que o cenário base), fez com que o número total de conflitos baixasse em todos os trajetos (figura 4.8).

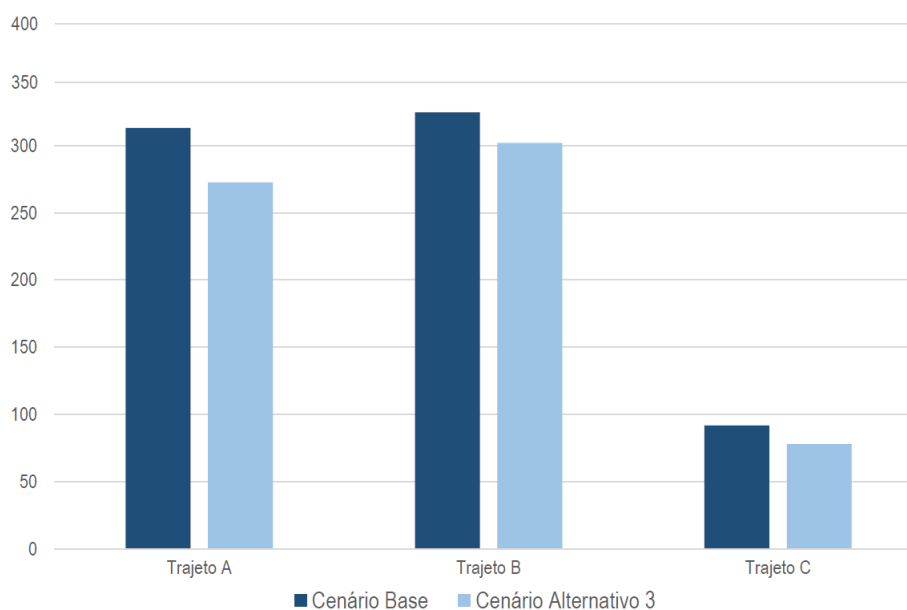


Figura 4.8: Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 3

A tabela 4.10 mostrou que para o intervalo médio de TTC (1,0s) ambos os cenários não registaram diferenças significativas. Já para os seus extremos ($TTC \leq 0,5$ e 1,5 segundos) ocorreram variações que se mostraram significativas ($p\text{-value} < 0,05$). No trajeto C verificou-se a única e maior diferença (22,2%) para o intervalo de $TTC \leq 0,5$.

Tabela 4.10: Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 3

Total	TTC $\leq 0,5$		TTC ≤ 1		TTC $\leq 1,5$	
	CB	CA3	CB	CA3	CB	CA3
Trajetos A Média	0,24	0,25	0,82	0,83	1,34	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,015; 4,2%		0,087; 1,2%		0,015; 0,7%	
Trajetos B Média	0,23	0,25	0,82	0,83	1,34	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,013; 8,7%		0,052; 1,2%		0,044; 0,7%	
Trajetos C Média	0,18	0,22	0,82	0,83	1,35	1,36
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,006; 22,2%		0,313; 1,2%		0,311; 0,7%	

Os valores das medidas representativas da tabela 4.11 permitiram indicar, em todos os trajetos, igualdade na probabilidade da ocorrência de colisões (à exceção do trajeto C, onde a probabilidade é menor), e também menor gravidade das potenciais colisões. Uma vez que o valor de DR no trajeto A e o valor de ΔV no trajeto C não apresentaram diferenças estatisticamente significativas, foi possível definir que todos os trajetos do cenário alternativo 3 apresentam valores mais favoráveis das medidas representativas, em relação aos do cenário base.

Tabela 4.11: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 3

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	CB	CA3	CB	CA3	CB	CA3	CB	CA3	CB	CA3
Trajetos A Média	1,02	1,04	1,48	1,47	6,32	6,05	4,4	4,26	-1,33	-1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,034; 2%		0,804; -0,7%		0; -4,3%		0,046; -3,2%		0,433; 1,5%	
Trajetos B Média	1,02	1,03	1,48	1,47	6,32	6,07	4,4	4,22	-1,33	-1,34
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,067; 1%		0,629; -0,7%		0; -4%		0,006; -4,2%		0,653; 0,8%	
Trajetos C Média	0,97	1,03	1,52	1,64	6,66	6,13	4,01	4,14	-1,68	-1,7
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,005; 6,2%		0,005; 7,9%		0; -8%		0,213; 3,2%		0,798; 1,2%	

No trajeto A e B, os valores de MaxV variaram na casa dos 4%, em relação ao cenário base. Na mesma ordem de comparação, o parâmetro ΔV variou 3,2% e 28,9%. Para os trajetos A e C foram constatados aumentos, na variável TTC, de 2% e 6,2%. Ainda em C, face ao mesmo trajeto do cenário base, o valor de PET aumentou 7,9%, e o de MaxV diminuiu 8%. Face ao aumento dos parâmetros TTC e PET, do trajeto C, conclui-se que este apresenta menos probabilidade na ocorrência de colisões, relativamente ao mesmo do cenário base.

Por último, comparando o cenário alternativo 4 com o base, a figura 4.9 mostra um aumento considerável de conflitos no trajeto C. A definição das zonas de velocidade máxima 30 km/h, em todos os trajetos, fez com que o fluxo de tráfego fosse mais elevado, levando ao aumento observado. Na tabela 4.13 verifica-se que para o intervalo de 1,0 segundos dos valores médios de TTC, o trajeto C do cenário alternativo 4 apresentou um aumento de 2,4% face ao cenário base.

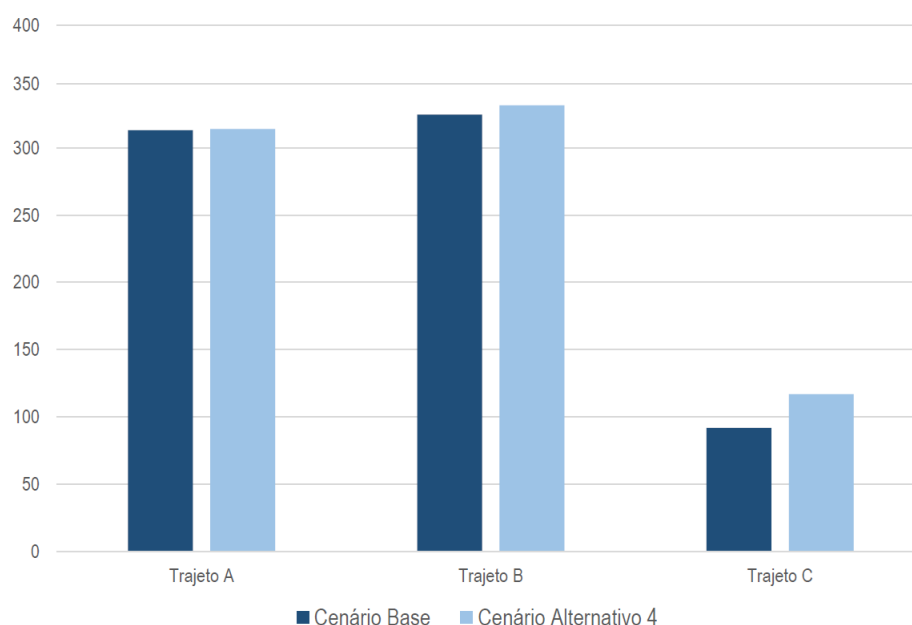


Figura 4.9: Comparação do número total de conflitos no cenário base e alternativo 4

Tabela 4.12: Comparação das médias de TTC, para diferentes intervalos, entre o cenário base e o alternativo 4

Total	TTC $\leq 0,5$		TTC ≤ 1		TTC $\leq 1,5$	
	CB	CA4	CB	CA4	CB	CA4
Trajeto A Média	0,24	0,23	0,82	0,81	1,34	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,368; -4,2%		0,674; -1,2%		0,088; 0,7%	
Trajeto B Média	0,23	0,23	0,82	0,81	1,34	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,317; 0%		0,604; -1,2%		0,064; 0,7%	
Trajeto C Média	0,18	0,19	0,82	0,84	1,35	1,35
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,421; 5,6%		0,041; 2,4%		0,969; 0%	

O teste estatístico realizado para comparação entre o cenário alternativo 4 e o base, das suas medidas representativas, demonstrou *p-values* inferiores a 0,05 em todas as variáveis (à exceção de DR no trajeto C), o que demonstra diferenças significativas em todos os valores. A definição das zonas de velocidade reduzida mostraram-se como uma vantagem relativamente aos valores resultantes das variáveis MaxV, ΔV e DR. Em todos os trajetos (à exceção de C), os valores foram inferiores na ordem dos 14%, 20% e 8%, relativamente ao cenário base, o que revelou menor gravidade das colisões potenciais. Tendo em conta que o valor médio de velocidade dos veículos em análise é inferior, a gravidade das hipotéticas colisões é também menor. Os parâmetros de TTC e PET foram inferiores no trajeto A e B, na ordem dos 3% e 6%, respetivamente. Em C verificou-se uma percentagem superior (6,2%) na diferença do valor de TTC, e inferior no parâmetro PET (5,3%). Esta diminuição faz com que a probabilidade da ocorrência de colisões em todos os trajetos, do cenário alternativo 4, seja superior.

Tabela 4.13: Comparação das médias das medidas representativas da segurança rodoviária, entre o cenário base e o alternativo 4

Total	TTC		PET		MaxV		ΔV		DR	
	CB	CA4	CB	CA4	CB	CA4	CB	CA4	CB	CA4
Trajetos A Média	1,02	0,98	1,48	1,39	6,32	5,38	4,4	3,44	-1,33	-1,23
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,001; -3,9%		0; -6,1%		0; -14,9%		0; -21,8%		0,010; -7,5%	
Trajetos B Média	1,02	0,98	1,48	1,38	6,32	5,44	4,4	3,42	-1,33	-1,22
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0; -3,9%		0; -6,8%		0; -13,9%		0; -22,3%		0,004; -8,3%	
Trajetos C Média	0,97	0,91	1,52	1,44	6,66	5,69	4,01	2,93	-1,68	-1,81
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,001; -6,2%		0,029; -5,3%		0; -14,6%		0; -26,9%		0,106; 7,7%	

Em suma, a análise às variáveis que verificam diferenças significativas nos seus valores, para a maioria das comparações realizadas, revelaram que os cenários preferenciais ao nível das medidas representativas da segurança rodoviária, comparativamente ao implementado atualmente, foram o 2 e 3. No entanto, o cenário alternativo 2 não configura as melhores condições para a mobilidade ciclável uma vez que foram verificados mais conflitos totais comparativamente ao cenário base.

4.3 Desempenho de Tráfego

Nesta secção é feita uma análise global e estatística (teste t), do desempenho de tráfego relativo ao volume total de veículos motorizados que circulam no domínio de estudo. O objetivo é apurar o efeito que as alterações implementadas (cenários alternativos) e o incremento do número de bicicletas provocam em termos de atraso e número de pára-arrancas.

Na figura 4.10 é apresentado o gráfico comparativo entre o número de veículos e pára-arrancas, e o respetivo atraso no tráfego. Na tabela 4.14 é realizada a análise estatística entre o número de veículos, o número de pára-arrancas e o atraso de tráfego, relativamente ao cenário base e aos cenários alternativos. As células a sombreado na tabela indicam as diferenças significativas ($p\text{-value} < 0,05$) dos parâmetros em análise.

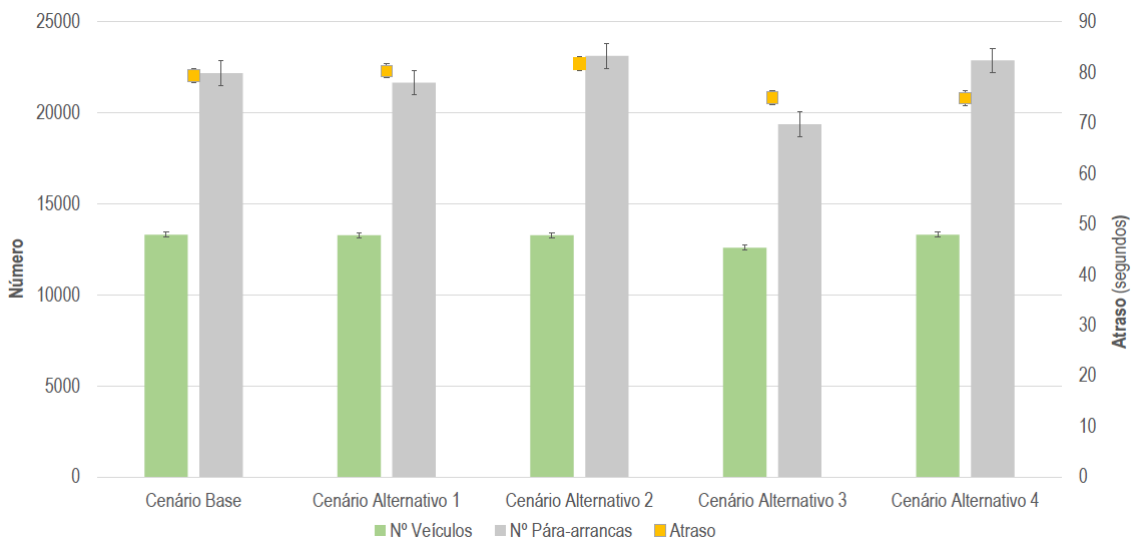


Figura 4.10: Comparação do número total de veículos, pára-arrancas e atraso, em todos os cenários

A análise dos resultados mostra que o número de pára-arrancas observado no cenário alternativo 1 diminui 2% em relação ao cenário base. Isto deve-se ao facto de terem sido implementadas ciclovias ao longo de todos os trajetos (A, B e C). Apesar desta redução o valor do atraso no tráfego não registou diferenças percentuais significativas, comparativamente ao cenário base ($p\text{-value} > 0,05$)(tabela 4.14).

Tal como esperado, o maior número de pára-arrancas ocorreu no cenário alternativo 2, sendo superior em 4% relativamente ao cenário base. Facto expectável uma vez que foram inseridas na rede 10 vezes mais bicicletas para o mesmo volume de tráfego motorizado. Por sua vez, o atraso do tráfego aumentou aproximadamente 3% relativamente ao cenário base. No entanto, esta diferença não foi significativa ($p\text{-value} > 0,05$)(tabela 4.14).

Tabela 4.14: Comparação estatística do desempenho de tráfego, entre o cenário base e os cenários alternativos

Total	CB	CA1	CB	CA2	CB	CA3	CB	CA4
Nº Veículos Média	13303	13270	13303	13270	13303	12587	13303	13303
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,821; -0,2%		0,808; -0,3%		0; -5,4%		1; 0%	
Nº Pára-Arrancas Média	22180	21650	22180	23121	22180	19370	22180	22881
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,069; -2%		0,006; 4%		0; -13%		0,025; 3%	
Atraso Média	79	80	79	82	79	75	79	75
<i>p-value</i> (95%); dif. (%)	0,929; 1%		0,820; 3%		0,674; -5%		0,650; -6%	

No cenário alternativo 3, o valor do atraso diminuiu 5% comparativamente ao cenário base. Neste caso, a inserção de 10 vezes mais bicicletas na rede, e a remoção de veículos motorizados, correspondente à transferência modal dos seus ocupantes (taxa de ocupação média de 1,37 pessoas por veículo motorizado) para o modo ciclável, também induziu uma diminuição (13%) no número de pára-arrancas em relação ao cenário base (figura 4.10).

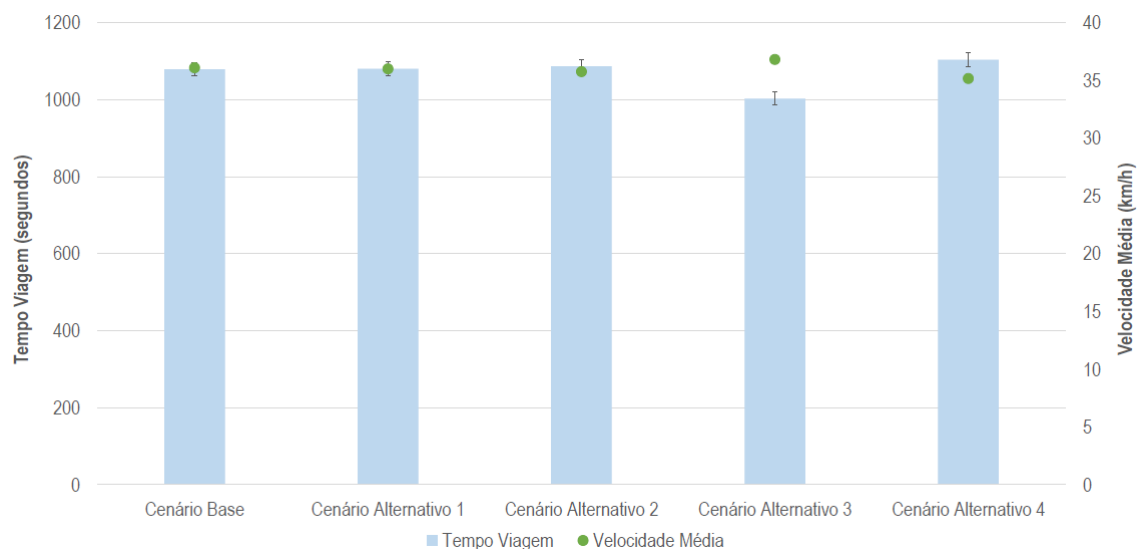


Figura 4.11: Comparação do tempo de viagem e velocidade média dos veículos, em todos os cenários

Por fim, a criação de zonas de velocidade reduzida no cenário alternativo 4, ao longo dos trajetos (30 km/h velocidade máxima), induziu um aumento de 3% nos pára-arrancas, comparativamente ao cenário base (figura 4.10). O tempo de viagem é superior no

cenário alternativo 4, no entanto, os veículos do cenário base viajam menos tempo à sua velocidade de cruzeiro (figura 4.11). Daí o facto de no cenário alternativo 4 se verificar uma diminuição do atraso em 6%, relativamente ao cenário base (figura 4.10), mas que não é significativa ($p\text{-value} > 0,05$) (tabela 4.14).

Capítulo 5

Conclusões e Trabalhos Futuros

O trabalho realizado nesta Dissertação focou-se na análise da segurança rodoviária envolvendo a temática da mobilidade ciclável na cidade de Aveiro. Como forma de filtrar áreas de interesse para o estudo de conflitos, entre bicicletas e veículos motorizados, foram analisados 3 trajetos diferentes (A, B e C) com a mesma origem (Estação Ferroviária de Aveiro) e destino (Universidade de Aveiro - Reitoria). Para tal, através de modelação no software de simulação rodoviária *VISSIM* foi criado um cenário base que espelha a realidade do tráfego na hora de ponta da manhã (8h-9h). Posteriormente, foram estabelecidos 4 cenários com o intuito de verificar a sua influência em termos da segurança rodoviária. Assim, através dos ficheiros extraídos das simulações em *VISSIM* (com as trajetórias de todos os veículos da rede), foi utilizado o modelo *SSAM* para avaliação dos conflitos obtidos, por tipologia (atravessamento, frente-traseira e mudança de via), e das medidas representativas da segurança rodoviária (TTC, PET, MaxV, ΔV e DR).

Para o trajeto A, de todos os cenários em análise, foram registados mais conflitos no alternativo 2 (365,9) e menos no alternativo 1 (227,3), representando uma diferença de 38% entre eles. Este facto era expectável, uma vez que no cenário 2 foram inseridas mais bicicletas na rede (10 vezes mais que no base), o que faz aumentar o fluxo total de tráfego e por sua vez a probabilidade de ocorrência de conflitos. No cenário 1 foram implementadas ciclovias ao longo de todos os trajetos, o que se traduziu numa diminuição dos conflitos totais verificados. Os valores de TTC e PET foram mais baixos no cenário 4 (1,0 e 1,4 segundos, respetivamente) o que indica maior probabilidade na ocorrência de colisões. O cenário 2 também apresentou os mesmos valores, no entanto, a diferença nos valores de PET não foi significativa ($p\text{-value} > 0,05$). O aumento global de veículos (cenário 2) e o limite de 30 km/h (cenário 4) são as razões para a diminuição destas variáveis, ocorrendo maior acumulação de tráfego, nomeadamente em cruzamentos e rotundas (zonas críticas). Por sua vez, tanto o cenário base como os alternativos 1 e 3 apresentaram valores de 1,0 e 1,5 segundos (para os mesmos parâmetros) significando menor probabilidade de colisões. As restantes medidas representativas de segurança rodoviária (MaxV, ΔV e DR) revelaram mais gravidade proveniente das potenciais colisões no cenário 1, e menos aonde foram definidas as zonas de velocidade reduzida (cenário 4).

No trajeto B, à semelhança do A, o maior número de conflitos ocorreu nos cenários 2 (388,5) e o menor no cenário 1 (234,7), representando uma diminuição de 40% entre eles. A diferença de 23% no percurso, de A relativamente a B, apenas é notável depois da rotunda do Hospital (local onde os dois se separam), o que se verificou insuficiente para alterar as

probabilidades de ocorrência de colisões. Logo, os cenários 2 e 4 foram novamente os que apresentaram menores valores de TTC e PET. Por sua vez, os que obtiveram mais, foram o base e os alternativos 1 e 3. Os valores de MaxV, ΔV e DR, foram inferiores no cenário 4, apresentando uma diminuição de 14%, 22% e 8%, respectivamente, em comparação com o cenário base, indicando assim menor gravidade das potenciais colisões.

Por fim, para o trajeto C, o cenário em que foram definidas as zonas de velocidade reduzida (com limite 30 km/h) apresentou o maior número de conflitos (116,9), uma vez que os veículos circulam a uma velocidade mais baixa, o que faz aumentar o fluxo de tráfego e acumulação de veículos em certas zonas. Outro dos cenários que apresentou um número superior de conflitos foi o 2, com uma diferença de apenas 7% em relação ao cenário 4. Por sua vez, onde foram observados menos conflitos foi no cenário 3 (78,0). Ao contrário do que era esperado, o cenário 4 apresentou não só a maior percentagem de conflitos, bem como a maior probabilidade na ocorrência de colisões. Por outro lado, os cenários onde os valores de TTC e PET foram mais elevados corresponderam ao 1 e 3. Analisando as restantes medidas representativas de segurança rodoviária, todos os valores do cenário 2 foram iguais aos do cenário base, à exceção de MaxV que diminuiu. No cenário 3, os valores foram iguais ou inferiores aos do cenário base, à exceção de ΔV que aumentou, mas a diferença no valor de ambos não foi estatisticamente significativa ($p\text{-value} > 0,05$).

De uma forma global, em todos os trajetos e cenários, os conflitos que se observaram com maior e menor frequência foram os de frente-traseira e os de atravessamento, respetivamente. O cenário que apresentou o menor número total de conflitos (nos trajetos A e B) foi o 1, sendo que os conflitos totais do trajeto C foram menores no cenário 3. Por sua vez, onde se verificaram mais conflitos totais, foram no cenário 2 (para os trajetos A e B) e no cenário 4 para o trajeto C. As medidas representativas de segurança rodoviária foram inconclusivas em relação a alguns cenários, sendo que a realização do teste t (análise estatística), foi importante na verificação das diferenças significativas entre certos valores. Nos trajetos A e B, os cenários 2 e 3 demonstraram-se como os melhores ao nível de todas as medidas representativas de segurança. Apesar de o valor de PET ser inferior no cenário 2 (em ambos os trajetos), comparativamente ao cenário base, a diferença não foi significativa uma vez que o teste estatístico revelou um valor de $p\text{-value} > 0,05$. No trajeto A, do cenário 3, o valor de DR foi superior em relação ao cenário base, mas a diferença entre ambos não foi significativa. No entanto, como no cenário 2 foram detetados mais conflitos totais comparativamente ao base, não se pode considerar este cenário como opção a implementar. Em relação ao trajeto C, os valores mais favoráveis das corresponderam aos cenários 2 e 3. O cenário 2 apresentou em todos os seus parâmetros de segurança melhorias ou igualdade de valores, comparativamente ao base. Mas, uma vez mais, o número total de conflitos verificado comprometeu a escolha deste cenário. No cenário 3, foram detetados menos conflitos totais relativamente a todos os outros cenários, o valor de DR observado foi dos mais baixos, e os parâmetros TTC e PET registaram os maiores valores (1,0s e 1,6s, respetivamente). No entanto, o valor da variável ΔV foi superior relativamente ao cenário base, mas a diferença entre ambos não é estatisticamente significativa ($p\text{-value} > 0,05$).

Tendo em conta os resultados obtidos, no que toca à escolha inequívoca do melhor cenário, pode-se definir o alternativo 3 como o preferencial a implementar na cidade de Aveiro, e que iria melhorar a qualidade da mobilidade ciclável através do aumento da segurança rodoviária. O trajeto C apresentou o menor número de conflitos total,

apesar de ter uma extensão mais longa (comparativamente a A e B) será o definido como prioritário, e por ordem crescente de conflitos registados, o trajeto A, e por último, o B.

Como forma de atingir os objetivos simulados no cenário alternativo 3, campanhas de sensibilização e promoção da bicicleta, poderão ser realizadas com mais frequência, com a finalidade, também, de incentivar o utente viário a utilizar este meio de transporte com mais frequência nas suas deslocações diárias, e assim promover a mobilidade ciclável.

As alterações implementadas ao caso de estudo (cenários alternativos) e o incremento do número de bicicletas na rede, provocaram alterações no desempenho do tráfego, a nível do número de pára-arrancas e do atraso, dos veículos motorizados. O maior número de pára-arrancas ocorreu no cenário 2, e o menor no cenário 3, sendo que a diferença entre eles foi de 16%. Também o cenário 2 foi o que provocou o maior atraso no tráfego, com uma diferença de 9% relativamente aos cenários 3 e 4 (cenários onde o atraso no tráfego decresceu face ao base).

Como referido anteriormente, os resultados provenientes do *SSAM* (número de conflitos e medidas representativas da segurança rodoviária) dependem do processo de modelação realizado no *VISSIM*. Posto isto, foi possível constatar que:

- No cenário 4 a definição de zonas de velocidade reduzida (30 km/h), face ao número de veículos introduzidos no modelo, fez com que os resultados obtidos na simulação fossem incoerentes com o que na realidade deveria ter acontecido. Uma vez que os veículos circulam a uma velocidade média mais reduzida, a gravidade proveniente de uma potencial colisão é menor (valores inferiores de MaxV, ΔV e DR), mas no entanto, a probabilidade da ocorrência de colisões foi superior (menores valores de TTC e PET) à verificada no cenário base, o que não deveria ter acontecido.
- O trajeto C, apesar de ter sido implementado propositadamente com o objetivo de apresentar melhorias nos parâmetros de segurança rodoviária, verificou-se insatisfatório uma vez que, apesar de apresentar menos conflitos totais (como era esperado), não revelou (sempre) os melhores valores na totalidade das medidas representativas da segurança rodoviária. Este facto poderá estar assente nas características das vias e troços que compõem este trajeto. A modelação foi realizada tendo em conta as características reais das vias, onde estas, em certas zonas, apresentaram um perfil geométrico com curvas e interseções acentuadas, o que poderá ter provocado alterações à velocidade de circulação dos veículos e a alguns resultados inesperados nas medidas da segurança rodoviária.

Uma das maiores dificuldades neste trabalho incidiu na filtragem de conflitos por trajeto e posterior análise, tratamento e correlação de dados. A introdução de um sistema automático de filtragem de conflitos, no modelo *SSAM*, por tipo de veículo e trajeto, e uma organização de resultados mais coerente, por parte deste, seria certamente vantajoso.

Assim, em termos de trabalho futuro seria interessante abordar os seguintes aspetos:

- Implementar novos estudos de caso baseados em trajetos habitualmente utilizados para as deslocações à Universidade de Aveiro, nomeadamente com início na zona do Glicínias e término na UA;
- Analisar diferentes trajetos, nomeadamente os que são utilizados com mais frequência para as deslocações à Universidade de Aveiro, e que fazem parte do inquérito

realizado, sobre a mobilidade em bicicleta no campus, inserido na Unidade Curricular de Planeamento da Mobilidade do curso de Mestrado em Planeamento Regional e Urbano da Universidade de Aveiro;

- Introduzir novos cenários alternativos com diferentes características face ao base, nomeadamente a implementação de zonas de velocidade reduzida (máximo 20 km/h);
- Introduzir na simulação um número mais elevado de bicicletas, por exemplo, com uma procura semelhante às que circulem numa cidade Europeia com hábitos de mobilidade ciclável e com a mesma dimensão de Aveiro;
- Implementar na rede zonas partilhadas para peões, ciclistas e veículos motorizados;
- Análise mais pormenorizada de conflitos em interseções e rotundas (consideradas zonas críticas a nível de conflitos).

Referências Bibliográficas

- [1] EC (2014), *EU Transport in Figures - Statistical Pocketbook 2014*, European Commission, ISBN 978-92-79-37506-4, 77 pp.
- [2] WBCSD (2015). *World Business Council for Sustainable Development*. <http://www.wbcsd.org/home.aspx>. Acedido em março de 2015.
- [3] IMTT (2015). Instituto da mobilidade e dos transportes, i.p. <http://www.imtt.pt/sites/IMTT/Portugues/Paginas/IMTHome.aspx>. Acedido em março de 2015.
- [4] EEA (2014), *Focusing on environmental pressures from long-distance transport*, TERM 2014: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe, European Environment Agency, ISBN 978-92-9213-497-6, Direção Geral de Energia e Transportes, 108 pp.
- [5] EEA (2013), *A closer look at urban transport*, TERM 2013: transport indicators tracking progress towards environmental targets in Europe, European Environment Agency, ISBN 978-92-9213-413-6, Direção Geral de Energia e Transportes, 112 pp.
- [6] ECF (2012), *Economic Benefits of Cycling*, European Cyclists Federation, 2 pp.
- [7] EuroVelo (2015). *The European Cycle Route Network*. <http://www.eurovelo.com/en>. Acedido em março de 2015.
- [8] CE Comissão Europeia (2015). Mobilidade e transportes - segurança rodoviária. http://ec.europa.eu/transport/road_safety/users/cyclists/index_pt.htm. Acedido em março de 2015.
- [9] EC (2013). Mobility and transport - road safety. http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm. Acedido em março de 2015.
- [10] Candappa N., et al. (2012), *Basic Fact Sheet "Cyclists"*, Deliverable D3.9 of the EC FP7 project DaCoTA, European Road Safety Observatory - European Commission, 20 pp.
- [11] EC (2014), *Special Eurobarometer 422a*, Quality of Transport Report, 137 pp.
- [12] EC (2015). *Promoting cycling: changes to expect - European Commission*. http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pedestrians/promote_cycling_and_bicycle_helmets_or_not/promoting_cycling_changes_to_expect_en.htm. Acedido em março de 2015.

- [13] PROMISING (2001), *Cost-benefit analysis of measures for vulnerable road users*, Final report of Workpackage 5 of the European research project PROMISING, Deliverable D5. Transport Research Laboratory TRL, Crowthorne, Berkshire, 116 pp.
- [14] ECF (2015), *ECF Cycling Barometer - Tecnical Document*, European Cyclists' Federation, 5 pp.
- [15] ANSR (2015). Autoridade nacional de segurança rodoviária. <http://www.ansr.pt/>. Acedido em março de 2015.
- [16] ANSR (2015), Código da Estrada, Autoridade Nacional de Segurança Rodoviária, Lei n.º 72/2013 3 de Setembro, Direção Geral de Energia e Transportes.
- [17] FPCUB (2015). Federação portuguesa de cicloturismo e utilizadores de bicicleta. <http://www.fpcub.pt/>. Acedido em março de 2015.
- [18] Huang, F., Liu, P., Yu, H., Wang, W. (2013), *Identifying if VISSIM simulation model and SSAM provide reasonable estimates for field measured traffic conflicts at signalized intersections*, Accident Analysis & Prevention, Volume 50, pp. 1014-1024.
- [19] Dijkstra A., Marchesini P., Bijleveld F., Kars V., Drolenga H., Van Maarseveen M. (2010), *Do Calculated Conflicts in Microsimulation Model Predict Number of Crashes?*, Transportation Research Board of the National Academies, Volume 1, pp. 105-112.
- [20] Kim, K., Sul, J. (2009), *Development of Intersection Traffic Accident Risk Assessment Model Application of Micro-simulation Model with SSAM to Sungnam City*, Transportation & Environment Research Institute Ltd, pp. 201-206.
- [21] Obeng-Boampong, K., Ding, L., Henk, R., Williams, J., Vo, P. (2008), *An assessment of yield treatments at frontage road exit ramp and frontage road-U-turn merge areas*, Relatório FHWA/TX-08/0-4986-1, U.S. Department of Transportation, 82 pp.
- [22] Information Society Technologies European Commission (2008). Watch-over. <http://www.watchover-eu.org/index.html>. Acedido em março de 2015.
- [23] Robinson, Bruce W., Bared, Joe G. (2010), *Roundabouts: An Informational Guide*, Relatório FHWA-RD-00-067, U.S. Department of Transportation, 268 pp.
- [24] Archer, J. (2005), *Indicators for traffic safety assessment and prediction and their application in micro-simulation modelling: A study of urban and suburban intersections*, Doctoral Thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 254 pp.
- [25] Wang, Y., Nihan, L. N. (2004), *Estimating the risk of collisions between bicycles and motor vehicles at signalized intersections*, Accident Analysis & Prevention, Volume 36, pp. 313-321.
- [26] Silvano, A. P., Ma, X., Koutsopoulos, H. N. (2015), *When do drivers yield to cyclists at unsignalized roundabouts? Empirical evidence and behavioral analysis*, Journal of Transportation Research Record, 11 pp.

- [27] Zangenehpour, S., Strauss, J., Miranda-Moreno, L. F., Saunier, N. (2015), *Are Intersections With Cycle Tracks Safer? A Control-Case Study Based On Automated Surrogate Safety Analysis Using Video Data*, Transportation Research Board Annual Meeting Paper, 17 pp.
- [28] PTV Group (2013), *COWI: Cyclists in peak hour traffic*, Micro Simulation of cyclists in peak hour traffic guide, Copenhagen, Denmark, 47 pp.
- [29] COWI (2015). Leading consulting group with a 360° approach. <http://www.cowi.com/menu/home/Pages/cowi-group.aspx>. Acedido em março de 2015.
- [30] PTV (2011), *VISSIM 5.30-05 User Manual*, 680 pp.
- [31] FHWA (2008), *SSAM - Surrogate Safety Assessment Model User Manual*, FHWA-HRT-08-050, U.S. Department of Transportation, 90 pp.
- [32] Instituto Nacional de Estatística (2011). Censos 2011. http://censos.ine.pt/xportal/xmain?xpid=CENSOS&xpgid=censos2011_apresentacao. Acedido em abril de 2015.
- [33] Google (2015). Google maps. <https://www.google.pt/maps>. Acedido em abril de 2015.
- [34] Way2Go (2012), Plano Municipal de Mobilidade de Aveiro - Relatório de Caracterização e Diagnóstico, 439 pp.
- [35] Fernandes, P. (2010), Correlação de variáveis representativas de segurança rodoviária, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 146 pp.
- [36] Leal, A. J. P. (2008), Modelação do sistema rodoviário: perspectiva do conflito emergente, Dissertação de Mestrado em Ciências da Complexidade, ISCTE, Lisboa.
- [37] Luk, J., Tay, J. (2006), *The use and application of microsimulation traffic models*, Austroads, AP-R286-06, 103 pp.
- [38] Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., Shelby, S. (2003), *Surrogate Safety Measures From Traffic Simulation Models Final Report*, Publication FHWA-RD-03-050, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Research, Development, and Technology, 118 pp.
- [39] PTV Group (2015). Ptv vissim. <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>. Acedido em abril de 2015.
- [40] Coelho, M. (2010), Modelação Numérica de Incidentes de Tráfego Rodoviário, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 134 pp.
- [41] Rodrigues, H. (2012), Sistemas Inteligentes de Transportes: impacte nos consumos e emissões, Dissertação de Mestrado em Engenharia Mecânica, Universidade de Aveiro, Aveiro, 117 pp.

- [42] Fernandes, P., Fontes, T., Rodrigues, Pereira, S. R., Roupail, N. M., Coelho, M. C. (2015), *Multi-criteria Assessment Of Crosswalk Location In Urban Roundabout Corridors*, Transportation Research Board Annual Meeting 2015 Paper, 21 pp.
- [43] Fontes, T., Fernandes, P., Rodrigues, H., Bandeira, J. M., Pereira, S. R., Khattak, A. J., Coelho, M. C. (2014), *Are HOV/eco-lanes a sustainable option to reducing emissions in a medium-sized European city?*, Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 63, pp. 93-106.
- [44] Spiegelman, C., Park, E. S., Rilett, L. R. (2010), *Transportation Statistics and Microsimulation*, CRC Press Taylor & Francis Group, A Chapman & Hall Book, 331 pp.
- [45] Hale, D. (1997), *How many NETSIM Runs are Enough?*, McTrans Newsletter, Volume 11, 9 pp.
- [46] Systematics, C. (2010), *Travel Model Validation and Reasonableness Checking Manual Second Edition*, Federal Highway Administration, FHWA-HEP-10-042, Cambridge, Massachusetts, 240 pp.
- [47] Wisconsin Department of Transportation (2015). Model calibration. http://www.wisdot.info/microsimulation/index.php?title=Model_Calibration. Acedido em abril de 2015.
- [48] Gettman, D., Pu, L., Sayed, T., Shelby, S. (2008), *Surrogate Safety Assessment Model and Validation: Final Report*, FHWA-HRT-08-051, U.S. Department of Transportation, 322 pp.
- [49] Jin, S., Wang, Dian-hai., Xu, C., Ma, D-F. (2013), *Short-term traffic safety forecasting using Gaussian mixture model and Kalman filter*, Journal of Zhejiang University, pp. 231-243.
- [50] Horst, A., Goede, M., Hair-Buijssen, S., Methorst, R. (2014), *Traffic conflicts on bicycle paths: A systematic observation of behaviour from video*, Accident Analysis & Prevention, Volume 62, pp. 358-368.
- [51] IBM (2015). *SPSS software*. <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>. Acedido em maio de 2015.

Anexos

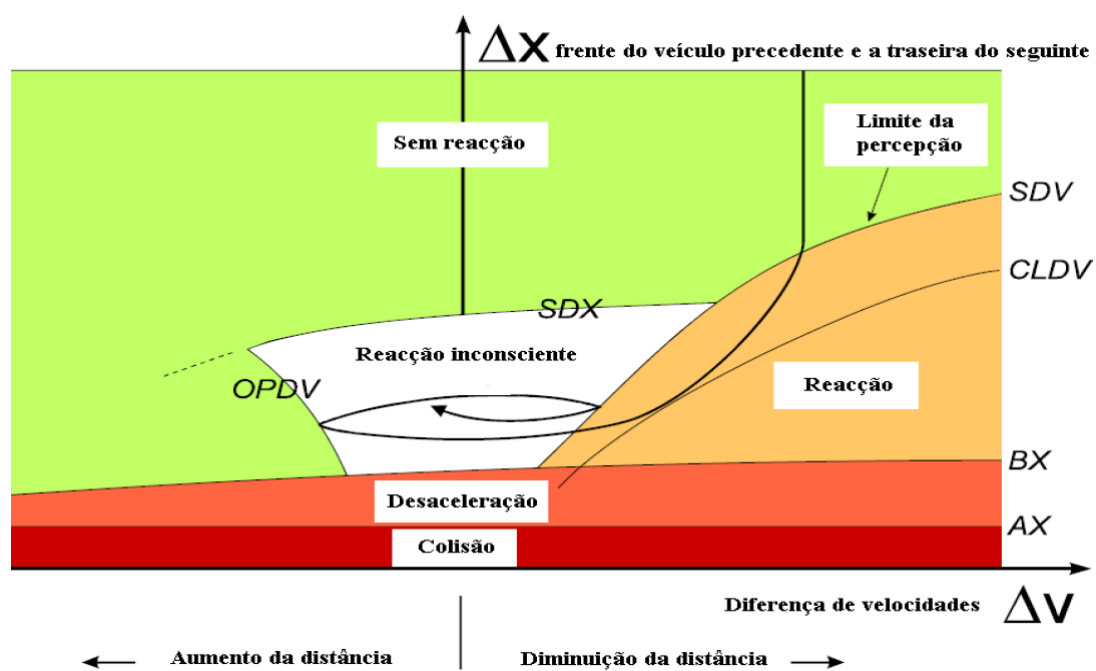


Figura A.1: Conceito de Wiedemann para o algoritmo *Car following model* [30] [35, adaptado]

Tabela A.1: Resultados calibração

Local (Figura 3.7)	Nº Bicletas Observadas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Nº Bicletas Simuladas	GEH
1	13	12	10	17	8	11	4	12	13	6	16	12	16	6	11	9	11	1,2
2	17	15	21	20	14	20	20	16	15	16	19	15	14	11	14	27	17	0,1
3	25	26	19	25	16	19	15	16	26	16	30	22	31	15	25	19	21	1,5
4	25	31	26	36	22	31	26	26	33	28	37	28	36	25	29	25	29	1,6
5	11	15	16	18	11	15	18	10	15	8	12	11	9	12	11	17	13	1,3
6	17	4	34	38	28	31	25	16	35	19	42	23	35	16	27	20	26	4,0

Tabela A.2: Número de bicicletas por nó no Cenário Base

Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
Nó																
1	12	10	17	8	11	4	12	13	6	16	12	16	6	11	9	11
2	15	21	20	14	20	20	16	15	16	19	15	14	11	14	27	17
3	26	19	25	16	19	15	16	26	16	30	22	31	15	25	19	21
4	31	26	36	22	31	26	26	33	28	37	28	36	25	29	25	29
5	15	16	18	11	15	18	10	15	8	12	11	9	12	11	17	13
6	4	34	38	28	31	25	16	35	19	42	23	35	16	27	20	26

Tabela A.3: Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 1

Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
Nó																
1	12	10	15	8	12	3	12	13	6	11	11	15	6	11	6	10
2	15	21	20	13	20	18	15	13	16	18	14	14	10	13	25	16
3	24	18	22	14	19	15	16	25	16	27	16	28	15	20	17	19
4	31	26	35	22	31	24	26	32	28	36	25	32	22	29	27	28
5	11	10	9	5	14	9	5	9	5	8	8	5	8	9	10	8
6	23	24	21	20	36	21	24	33	21	33	25	33	16	23	29	25

Tabela A.4: Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 2

Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
Nó																
1	56	68	44	35	48	43	63	61	52	62	53	48	47	45	40	51
2	124	138	104	121	128	120	110	112	128	123	116	105	123	111	144	120
3	110	118	88	85	95	93	107	118	95	107	91	108	84	84	87	98
4	120	140	118	106	118	121	127	146	120	131	119	124	107	108	98	120
5	35	60	46	47	61	48	43	52	52	62	57	50	64	49	34	51
6	1	86	60	58	57	58	28	83	44	95	84	60	39	68	33	57

Tabela A.5: Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 3

Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
Nó																
1	54	67	43	38	49	41	54	59	54	61	51	49	50	61	40	51
2	124	138	107	121	129	116	106	108	127	124	118	107	123	127	147	121
3	107	117	90	84	95	91	103	111	98	107	89	108	86	102	89	98
4	133	142	110	106	120	116	123	138	127	131	118	122	109	125	94	121
5	59	63	33	46	62	40	39	50	52	60	51	52	63	62	33	51
6	40	30	3	62	58	37	75	75	16	95	51	75	6	85	5	48

Tabela A.6: Número de bicicletas por nó no Cenário Alternativo 4

Simulação	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Média
Nó																
1	12	10	17	9	12	4	12	15	7	16	12	15	6	12	9	11
2	15	21	21	14	20	22	16	14	16	19	15	14	11	14	27	17
3	26	19	25	16	19	17	18	26	16	30	22	31	15	24	19	22
4	30	26	35	22	32	26	26	33	28	37	28	34	25	29	26	29
5	15	16	18	11	15	18	9	14	8	12	11	10	12	12	16	13
6	21	36	38	26	28	5	19	34	24	42	38	35	24	20	19	27

Tabela A.7: Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base

Trajeto	Conflitos Simulação	Atravessamento	Frente-traseira	Mudança de via	Total
A	1	7	213	55	275
	2	5	250	64	319
	3	7	242	74	323
	4	5	212	49	266
	5	7	185	54	246
	6	10	235	68	313
	7	8	220	60	288
	8	8	223	63	294
	9	4	261	63	328
	10	2	262	64	328
	11	1	294	63	358
	12	13	266	60	339
	13	13	266	60	339
	14	13	266	60	339
	15	13	266	60	339
	Total	116	3661	917	4694
B	1	7	231	65	303
	2	5	257	67	329
	3	7	248	74	329
	4	5	221	49	275
	5	7	203	61	271
	6	10	241	70	321
	7	8	241	62	311
	8	8	225	65	298
	9	4	273	65	342
	10	2	266	66	334
	11	1	301	64	366
	12	13	273	62	348
	13	13	273	62	348
	14	13	273	62	348
	15	13	273	62	348
	Total	116	3799	956	4871
C	1	0	81	12	93
	2	0	89	12	101
	3	0	61	18	79
	4	0	82	18	100
	5	0	70	10	80
	6	1	61	21	83
	7	2	79	11	92
	8	0	62	27	89
	9	0	68	12	80
	10	1	84	21	106
	11	2	77	18	97
	12	1	79	14	94
	13	1	79	14	94
	14	1	79	14	94
	15	1	79	14	94
	Total	10	1130	236	1376

Tabela A.8: Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base

Trajeto	Conflitos Simulação	Atravessamento	Frente-traseira	Mudança de via	Total
A	1	11	167	54	232
	2	3	179	36	218
	3	11	135	49	195
	4	4	145	47	196
	5	7	173	47	227
	6	10	176	39	225
	7	6	188	64	258
	8	7	196	34	237
	9	6	153	48	207
	10	6	166	41	213
	11	4	173	44	221
	12	14	217	44	275
	13	9	154	38	201
	14	8	170	48	226
	15	6	200	72	278
	Total	112	2592	705	3409
B	1	7	170	56	233
	2	3	184	37	224
	3	11	162	53	226
	4	2	148	50	200
	5	7	175	47	229
	6	8	178	39	225
	7	6	190	64	260
	8	6	198	35	239
	9	6	156	51	213
	10	6	167	42	215
	11	4	185	46	235
	12	14	218	44	276
	13	9	178	41	228
	14	8	180	52	240
	15	6	199	72	277
	Total	103	2688	729	3520
C	1	3	80	18	101
	2	0	89	15	104
	3	0	56	16	72
	4	1	78	13	92
	5	0	53	8	61
	6	1	68	14	83
	7	2	81	19	102
	8	0	69	17	86
	9	1	71	13	85
	10	0	68	17	85
	11	2	72	15	89
	12	2	78	14	94
	13	0	79	14	93
	14	1	54	11	66
	15	1	78	25	104
	Total	14	1074	229	1317

Tabela A.9: Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base

Trajeto	Conflitos Simulação	Atravessamento	Frente-traseira	Mudança de via	Total
A	1	14	233	67	314
	2	9	373	84	466
	3	5	295	69	369
	4	8	281	63	352
	5	8	220	72	300
	6	10	277	80	367
	7	8	258	81	347
	8	7	304	87	398
	9	5	297	75	377
	10	3	302	78	383
	11	5	364	84	453
	12	9	293	76	378
	13	6	233	70	309
	14	9	293	57	359
	15	6	249	61	316
	Total	112	4272	1104	5488
B	1	14	255	80	349
	2	7	384	87	478
	3	5	305	71	381
	4	7	297	63	367
	5	8	268	77	353
	6	10	289	81	380
	7	8	287	85	380
	8	7	313	90	410
	9	5	307	79	391
	10	3	311	81	395
	11	5	373	86	464
	12	8	300	82	390
	13	6	274	78	358
	14	9	308	59	376
	15	6	282	67	355
	Total	108	4553	1166	5827
C	1	0	93	27	120
	2	3	85	22	110
	3	2	78	23	103
	4	4	86	19	109
	5	0	76	14	90
	6	1	83	26	110
	7	2	91	21	114
	8	1	75	28	104
	9	2	82	20	104
	10	5	106	21	132
	11	5	68	20	93
	12	2	95	16	113
	13	3	91	18	112
	14	1	84	27	112
	15	5	78	25	108
	Total	36	1271	327	1634

Tabela A.10: Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base

Trajeto	Conflitos Simulação	Atravessamento	Frente-traseira	Mudança de via	Total
A	1	9	232	52	293
	2	12	235	62	309
	3	2	143	40	185
	4	10	222	51	283
	5	9	172	45	226
	6	4	218	44	266
	7	9	226	63	298
	8	6	231	60	297
	9	10	214	59	283
	10	6	228	50	284
	11	2	203	47	252
	12	7	245	80	332
	13	9	196	68	273
	14	8	211	67	286
	15	2	168	52	222
	Total	105	3144	840	4089
B	1	8	255	57	320
	2	11	258	64	333
	3	3	211	43	257
	4	10	237	55	302
	5	9	218	53	280
	6	4	246	47	297
	7	9	241	67	317
	8	6	249	62	317
	9	10	225	63	298
	10	6	240	50	296
	11	2	225	57	284
	12	7	251	80	338
	13	9	219	71	299
	14	7	224	70	301
	15	2	214	71	287
	Total	103	3513	910	4526
C	1	0	63	11	74
	2	4	52	15	71
	3	1	47	14	62
	4	2	72	15	89
	5	5	60	16	81
	6	3	61	8	72
	7	4	50	20	74
	8	2	43	17	62
	9	5	72	19	96
	10	3	66	16	85
	11	6	42	12	60
	12	4	62	11	77
	13	5	60	22	87
	14	3	64	20	87
	15	3	73	17	93
	Total	50	887	233	1170

Tabela A.11: Tipos de conflitos em cada simulação e trajeto no Cenário Base

Trajeto	Conflitos Simulação	Atravessamento	Frente-traseira	Mudança de via	Total
A	1	6	196	52	254
	2	6	270	61	337
	3	5	220	50	275
	4	6	206	46	258
	5	18	250	60	328
	6	5	200	61	266
	7	7	250	61	318
	8	14	230	52	296
	9	6	271	57	334
	10	6	312	72	390
	11	7	276	73	356
	12	10	276	66	352
	13	3	265	55	323
	14	8	214	56	278
	15	9	272	63	344
	Total	116	3708	885	4709
B	1	6	212	56	274
	2	6	279	62	347
	3	5	233	50	288
	4	6	210	48	264
	5	18	292	64	374
	6	4	225	66	295
	7	7	275	66	348
	8	14	237	53	304
	9	6	283	57	346
	10	6	327	72	405
	11	7	286	73	366
	12	10	279	67	356
	13	3	269	55	327
	14	9	246	61	316
	15	9	291	64	364
	Total	116	3944	914	4974
C	1	1	94	26	121
	2	1	97	26	124
	3	2	99	16	117
	4	2	96	16	114
	5	0	92	16	108
	6	2	80	18	100
	7	2	102	24	128
	8	3	79	19	101
	9	3	117	17	137
	10	2	110	19	131
	11	1	95	19	115
	12	4	94	17	115
	13	2	79	17	98
	14	0	80	18	98
	15	1	127	18	146
	Total	26	1441	286	1753

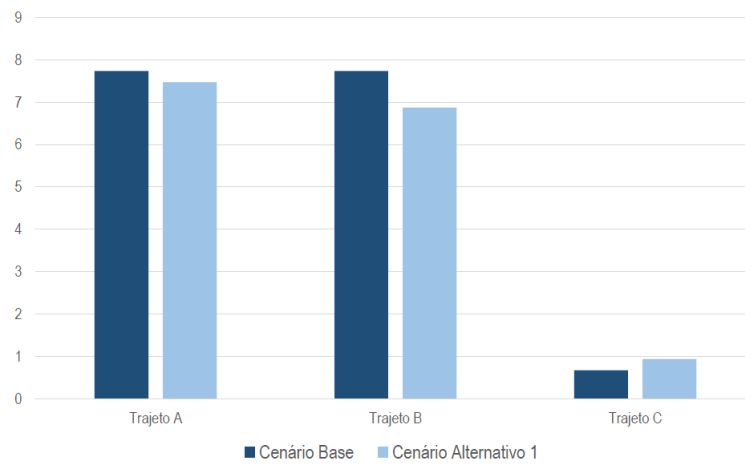


Figura A.2: Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA1

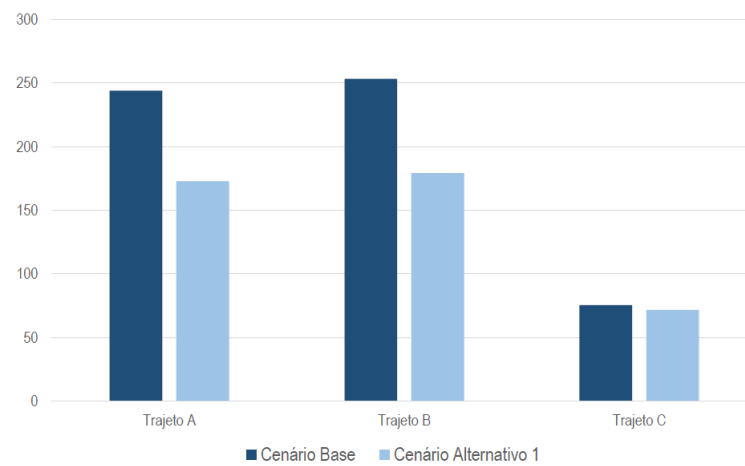


Figura A.3: Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA1

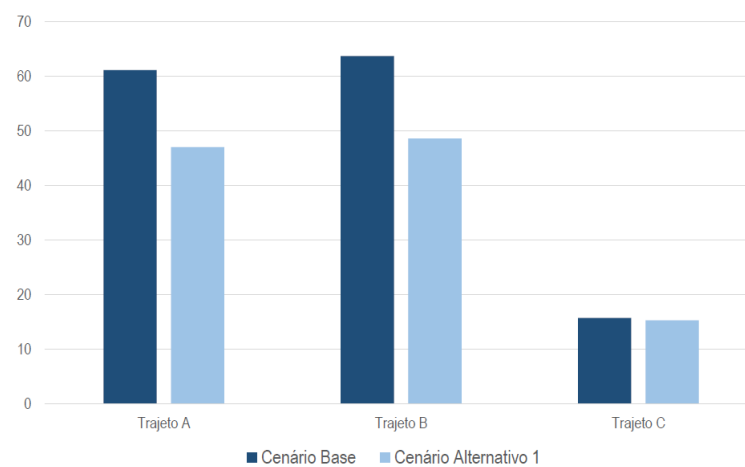


Figura A.4: Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA1

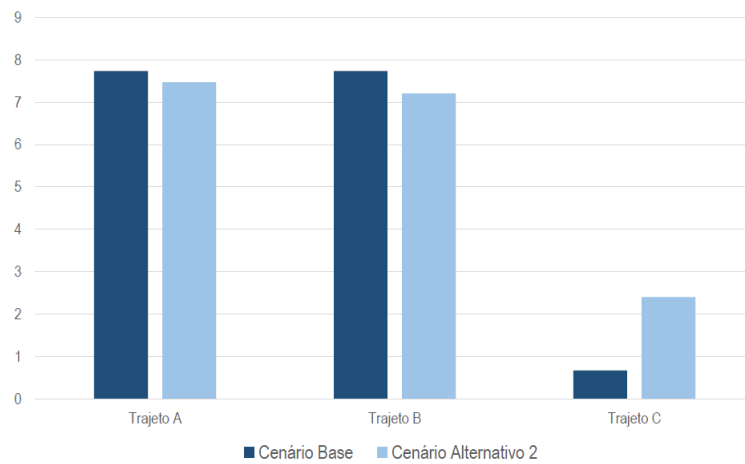


Figura A.5: Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA2

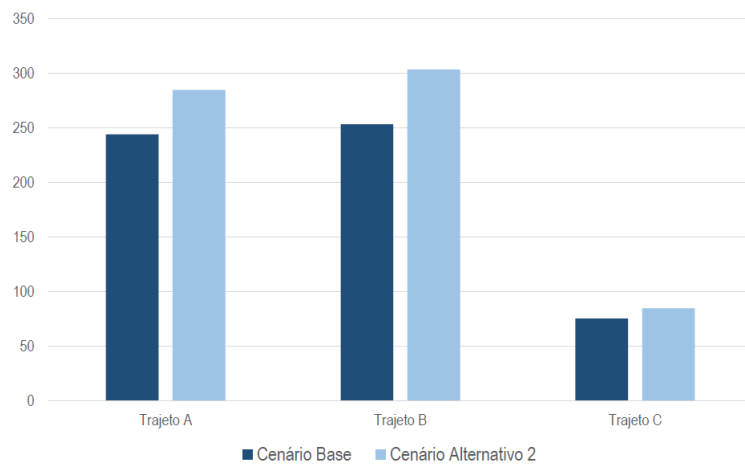


Figura A.6: Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA2

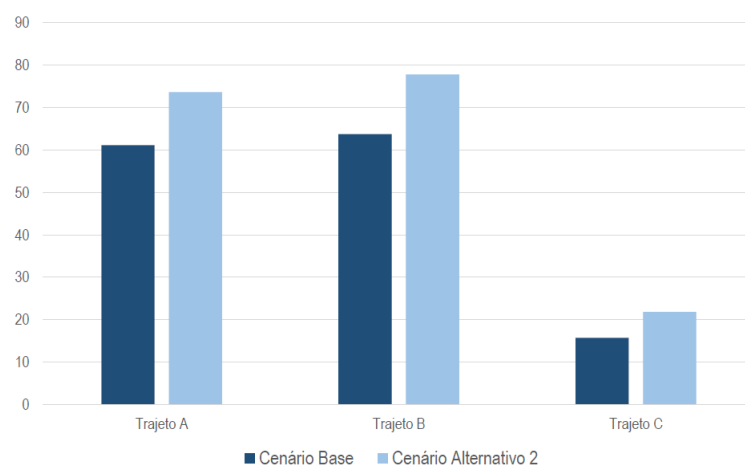


Figura A.7: Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA2

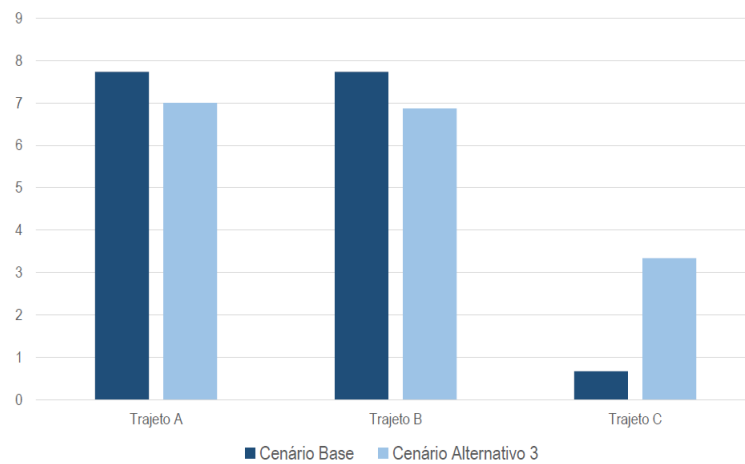


Figura A.8: Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA3

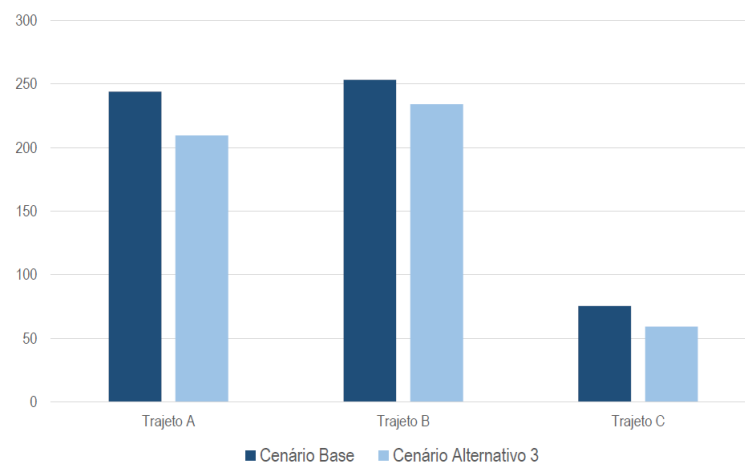


Figura A.9: Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA3

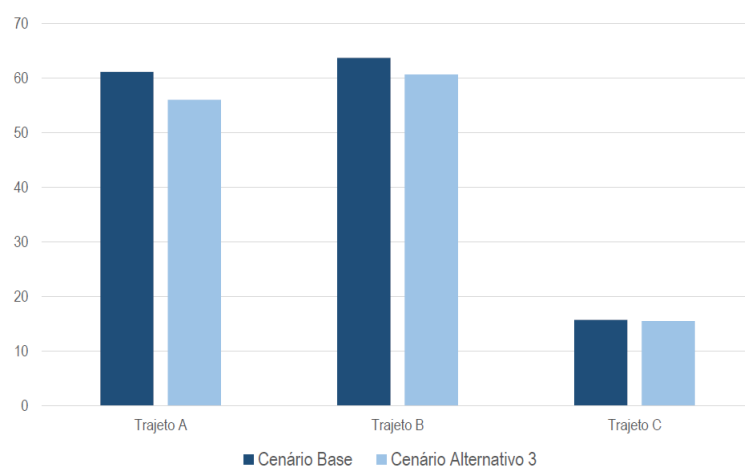


Figura A.10: Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA3

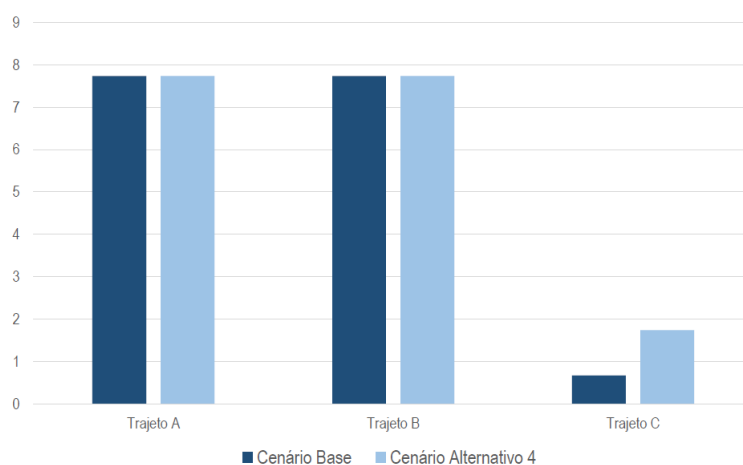


Figura A.11: Comparação de conflitos do tipo atravessamento, por trajeto, no CB e CA4

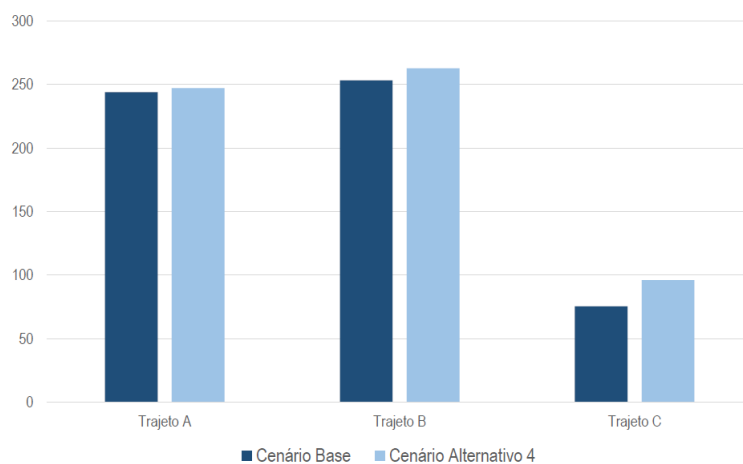


Figura A.12: Comparação de conflitos do tipo frente-traseira, por trajeto, no CB e CA4

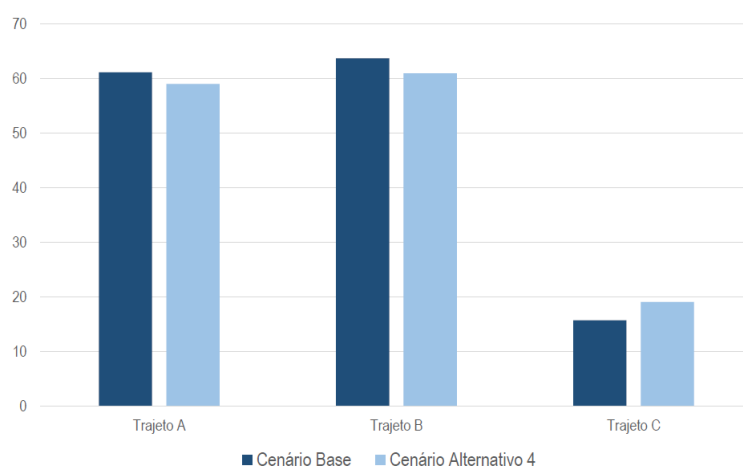


Figura A.13: Comparação de conflitos do tipo mudança de via, por trajeto, no CB e CA4

Interpretação do teste t

A tabela da figura A.14 diz respeito aos resultados provenientes do teste t realizado, para a comparação de duas médias no caso de amostras independentes, e ao teste de *Levene* como forma de análise da hipótese de igualdade das variâncias.

Independent Samples Test										
Cenários		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
TTC_A	Cenário Base Cenário altern1	F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
TTC_A	Equal variances assumed	4,667	,031	-3,086	8278	,002	-,03121	,01011	-,05104	-,01138
	Equal variances not assumed			-3,100	7452,003	,002	-,03121	,01007	-,05095	-,01148

Figura A.14: Resultados do teste t para a variável TTC do trajeto A, entre o cenário base e o alternativo 1

No teste de *Levene* as hipóteses são:

- $H_0: \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ (*Equal variances assumed* - variâncias iguais);
- $H_0: \sigma_1^2 \neq \sigma_2^2$ (*Equal variances not assumed* - variâncias diferentes);
- Se a significância do teste for $\leq 0,05$, rejeita-se a igualdade das variâncias;
- Se a significância do teste for $> 0,05$, as variâncias são iguais.

Para este caso, como se pode verificar na tabela "*Independent Samples Test*", da figura em análise, $\text{Sig.} = 0,031 \leq 0,05$, logo rejeita-se a igualdade das variâncias e analisa-se somente a linha da tabela referente às variâncias diferentes ("*Equal variances not assumed*"). O nível de significância obtido no teste (Sig. (2-tailed)) foi $p\text{-value} = 0,002 \leq 0,05$, logo rejeita-se H_0 . Assim, podemos afirmar com 95% de confiança que a diferença verificada entre os valores das variáveis de TTC (no trajeto A), entre o cenário base e o alternativo 1, é significativa.